

UDC

MH

中华人民共和国行业标准

P

MH/T××××—×××

民用机场工程监测技术规范

Technical specification for engineering monitor of airport

(征求意见稿)

202×—××—××发布

202×—××—××施行

中国民用航空局 发布

中华人民共和国行业标准

民用机场工程监测技术规范

Technical specification for engineering monitor of airport

MH/T××××—××××

(征求意见稿)

主编单位:

参编单位:

批准部门: 中国民用航空局

施行日期: 202×年×月×日

****出版社

202× 北 京

前 言

为适应机场工程监测需要，规范机场工程监测技术标准，编制本规范。编制组深入调研，认真总结和吸收了多年来我国机场工程监测经验和研究成果，在编写过程中参考了国内外有关技术规范和资料，经专家审查，反复讨论和修改后定稿。

本规范的主要技术内容包括 10 章：1.总则；2.术语；3.基本规定；4.地下水监测；5.地基与场地监测；6.边坡监测；7.飞行区建（构）筑物监测；8.施工影响监测；9.监测方法；10.监测成果与应用。

本规范由主编单位负责日常管理。执行过程中如有意见和建议，请函告民航机场规划设计研究总院有限公司科技质量部（地址：北京市朝阳区惠新东街甲 2 号住总地产大厦，邮编：100101，传真：010-64979430，电话：010-64922253，电子邮箱：zykjzlb@cacc.com.cn），以及民航工程建设标准化技术委员会秘书处（地址：北京市朝阳区惠新东街甲 2 号住总地产大厦；电话：010-64922342；电子邮箱：mhgcjsbwh@163.com），以便修订时参考。

主编单位：

参编单位：

主 编：

参编人员：

主 审：

参审人员：

目 次

1 总则	1
2 术语	3
3 基本规定	5
4 地下水监测	8
5 地基与场地监测	10
5.1 一般规定	10
5.2 飞行区道面影响区地基监测.....	11
5.3 地下工程影响场地监测.....	13
5.4 通信导航设施场地监测.....	15
5.5 不良地质作用场地监测.....	16
6 边坡监测	18
6.1 一般规定	18
6.2 坡体监测	18
6.3 支挡结构监测.....	19
7 飞行区建（构）筑物监测.....	21
7.1 一般规定	21
7.2 道面监测	21
7.3 飞行区服务车道桥梁监测.....	22
7.4 飞行区下穿通道监测.....	24
7.5 飞行区建筑物监测.....	25
8 施工影响监测	26
8.1 一般规定	26
8.2 振动影响监测.....	26
8.3 暗挖施工影响监测.....	28
8.4 降水施工影响监测.....	29
9 监测方法	31
9.1 一般规定	31
9.2 变形与裂缝监测.....	32
9.3 振动监测	35

9.4 地下水土监测.....	36
9.5 应力应变监测.....	38
10 监测成果与应用	40
10.1 监测数据整理与分析.....	40
10.2 监测预警	43
10.3 自动化监测系统.....	45
10.4 监测成果	47
附录 A 建设期监测项目.....	48
附录 B 运营期监测项目	49
附录 C 常用监测方法.....	50
本规范用词用语说明	51
引用标准名录	52

1 总则

1.0.1 为适应民用机场建设发展的需要，规范民用运输机场的工程监测，保证监测质量，保障飞行区场地和设施的性能与安全，制定本规范。

【条文说明】工程监测的目的是为了及时掌握场地和建(构)筑物等监测对象的工作或服役状态，一是用于诊断，包括对监测对象安全性的判定、为不安全迹象和险情的诊断与处置提供依据、验证监测对象处于正常状态、验证设计参数以及对施工技术进行评估和改进；二是用于预测，通过监测资料掌握规律，对监测对象未来状态作出及时有效的预测；三是用于研究，监测资料是监测对象工作状态的真实反映，有助于深入了解变化机理，为改进设计、施工、运维提供依据。

各行业普遍重视基础设施的工程监测，水利、公路、铁路、建筑等行业均已制定了相应的监测技术标准，并建立了完善的监测体系。民用机场作为国家重大公共基础设施和生命线工程，不仅是综合交通的重要组成部分，在应急救援和国防安全等方面也发挥着其他基础设施不可替代的重要作用。目前，民航的行业标准中关于工程监测的内容不完整，且分布较为分散，不便于使用。

《民用机场勘测规范》(MH/T 5025)对软土地基和高填方工程的工程监测进行了规定；《民用机场岩土工程设计规范》(MH/T 5027)在飞行区特殊性岩土、飞行区不良地质作用、专项设计中，根据设计需求对工程监测进行了简要规定；《民用机场高填方工程技术规范》(MH/T 5035)对高填方工程监测进行了简要规定，具体要求参照《民用机场勘测规范》(MH/T 5025)执行；《民用机场填海工程技术规范》(MH/T 5060)对机场填海工程海堤、陆域形成、地基处理等的监测进行了规定。机场建构物及周边环境等影响机场建设和运营的监测对象，尚无针对性的标准可依据。另外，机场工程规模大、建设内容众多、建设界面复杂，尤其是大型枢纽机场，建设过程中下穿工程、飞行区地基处理工程、航站楼工程、空管工程、供油工程等等不同建设内容之间存在诸多交互影响。这些交互影响区对机场建设和运行存在安全隐患，也应在监测时予以关注。本规范将填补机场工程监测依据的空缺。

质量检测和工程监测不同，实施的对象、目的、阶段均有区别，不能互相替代。建设工程质量检测是依据国家和行业现行有关法律、行政法规、规章和技术标准，对机场工程涉及结构安全和主要使用功能的检测项目，进入施工现场的材料、构配件、设备和工程实体质量等进行的检测，包括施工过程中的质量检测和竣工验收阶段的质量检测。检测数据可以为后续工程监测的数据分析提供参考。比如，一般情况下填方地基施工过程中的密实度检测结果普遍较高的区域沉降量相对较小，对于施工过程中密实度检测数值相对较低的区域，监测实施过程中应重点关注。

1.0.2 本规范适用于新建和改(扩)建民用运输机场(含军民合用机场民用部分)建设期及运营期的飞行区场地和民航专业工程建(构)筑物及周边相关影响监测。

【条文说明】民用运输机场在建设期和运营期都有必要进行工程监测。长期以来，民用运输机场建设对工程监测重视不足，尤其是运营期的工程监测严重缺失，工程服役性能评价缺乏依据，在遭遇地震等自然灾害后也缺少监测数据以评价机场是否可继续正常运行。

工程监测的对象主要是民航专业工程，非民航专业工程监测在本规范一般不做具体要求，非民航专业工程中可能引起民航专业工程及其场地安全或质量问题的，本规范提出了必要的监测要求，如：下穿飞行区的轨道交通、高铁建设与运行可能引起机场场地变形，非民航专业工程的土建降水施工可能引起周边地面变形。

1.0.3 民用运输机场工程监测除应符合本规范的规定外，尚应符合国家现行有关技术标准的规定。

2 术语

2.0.1 工程监测 engineering monitor

机场工程建设及运营过程中，采用监测仪器对岩土体、地下水、工程结构和周边环境安全状态进行观察和量测，并对其变化特征和发展趋势进行分析和反馈。

【条文说明】了解监测对象的安全状态是工程监测的主要目的。不同监测对象的安全状态含义有所不同。机场工程的安全状态主要包括地基与场地的沉降和差异沉降、边坡及其支挡结构的稳定性、道面及其他建构筑物的服役状态等，也包括振动、暗挖、降水等施工时周边环境的安全状态。强夯、爆破等施工产生的噪音、粉尘不会引起周边建构筑物的安全问题，不属于工程监测的范畴。

2.0.2 监测项目 monitoring item

监测对象的工程特性指标，包括位移、地下水位、孔隙水压力、温度、湿度、应力及应变等。

2.0.3 监测点 monitoring point

直接或间接设置在监测对象上，能够反映监测对象力学、变形等特征的观测点。

2.0.4 监测对象 monitoring object

监测所针对的工程实体和周边环境，包括地下水、地基与场地、边坡、道面及其他建（构）筑物等。

2.0.5 监测预警值 monitoring alert threshold

对监测项目所设定的警戒值，以控制值的一定比例计算或直接给定。

2.0.6 监测频率 monitoring frequency

单位时间内的监测次数。

2.0.7 监测控制值 monitoring control values

为保证监测对象安全，针对各监测项目所设定的允许值。

2.0.8 监测周期 observation cycle

相邻两次监测之间的时间间隔。

2.0.9 建设期 construction period

自监测目标工程项目立项至投运的时长区间。

2.0.10 运营期 operation period

监测目标工程投运后运营阶段的时长区间。

2.0.11 下穿工程影响区 underpassing engineering impact area

地下工程穿越飞行区引起飞行区地面变形的区域。

【条文说明】机场中的下穿工程有的属于民航专业工程，如汽车通道、捷运通道、行李通道等，

有的不属于民航专业工程，如高铁、地铁等。民航专业工程的下穿工程建设期和运营期的工程监测在本规范第 7.4 节进行了规定，非民航专业工程的下穿工程监测不属于本规范的适用范围，本规范对其可能引起民航专业工程的安全问题提出了必要的监测要求，其施工期间的影响在第 8.3 节作出了规定，其运营期可能引起飞行区场地沉降，在第 5.3 节作出了规定。

3 基本规定

3.0.1 民用运输机场工程监测应进行监测设计。监测工作开展前，应由具备专业能力的监测实施单位根据监测设计结合工程的具体情况制定监测方案，应必要时进行专门论证；工况发生变化时，应根据实际情况及时调整监测方案。

3.0.2 监测方案制定应符合下列要求：

1 建设期监测应与运营期监测统筹考虑，建设期的监测设施不应给运营期监测带来障碍；建设期的监测设施如需在运营期延续使用的，应在建设期做好保护，并满足运营期监测要求，监测数据宜连续；运营期监测采用数字化系统时，宜兼容建设期监测系统。

2 建设期监测方案应根据工程测量、勘察、设计资料及现场条件等制定，并宜兼顾运营期监测需求。

3 运营期监测方案应根据工程建设期资料、机场运行管理相关规定、既有监测和检测成果等制定。

3.0.3 监测方案应根据工程设计和施工特点，结合水文、地质和环境情况及工程自身风险，有针对性的编制，宜包括下列内容：

- 1 工程概况及工程风险点；
- 2 工程环境条件，主要包括建设场区工程地质条件、水文地质条件及周边环境条件；
- 3 监测目的与依据；
- 4 监测对象及监测等级；
- 5 监测项目、基准点及监测点布设等要求；
- 6 监测方法与技术要求；
- 7 监测周期、频率；
- 8 监测项目控制值、预警值及异常情况下监测措施；
- 9 监测成果形式、分析及反馈；
- 10 监测点布置图、监测及巡查记录等附件；
- 11 监测设备及人员配备。

3.0.4 应根据工程特点和建设需要对地下水、地基与场地、边坡、飞行区建（构）筑物等进行监测，对于爆破施工、暗挖施工和降水施工等可能对周边建（构）筑物产生不利影响的施工，尚应对其产生的不利影响进行监测。

3.0.5 拟建场区的地下水动态监测应全面规划，监测点布设宜结合各阶段的勘察工作进行。地下工程、边坡工程等施工时的地下水监测应根据各单体工程特点及地质条件开展。

3.0.6 地基与场地监测应符合下列要求：

1 对地基和场地变形、稳定产生不利影响的特殊性岩土地基、填方地基、不良地质作用、地下工程应进行监测；

2 监测项目、监测点布置、监测时长、监测周期应能反映地基和场地变形范围、工程状态、变化特征；

3 道面施工时机应通过监测分析确定。

3.0.7 边坡监测应根据地质条件、边坡类型、支挡结构形式等制订监测方案，监测结果应能反映坡体及支挡结构的安全状态。

3.0.8 飞行区建（构）筑物监测应符合下列要求：

1 经过评定需要进行监测的建（构）筑物应进行监测；

2 飞行区建（构）筑物进行评定时应考虑建（构）筑物所处地质条件、飞行区功能分区、覆土厚度、结构跨度、结构类型、结构重要性、周边环境等因素；

3 监测项目的选择、监测点的布设位置和数量应根据施工工法、结构类型、周边环境等确定。

3.0.9 振动、降水等施工影响监测应覆盖施工影响范围和施工全过程。

3.0.10 监测方法的选择应符合下列要求：

1 监测方法应根据监测对象、监测阶段、监测需求及经验等因素综合确定，符合监测设计且合理易行；

2 监测方法应减小对工程结构强度和功能的影响，且不影响工程建设期实施进度和运营期服役性能；

3 监测方法宜采用自动化监测技术，便于形成自动化数据采集、传输、解析、报告发布系统及数据异常情况下的自动化预警平台。

3.0.11 影响工程安全或正常使用时应进行监测预警，监测结果达到监测预警值时应及时向相关单位反馈。出现下列情况时，应及时分析原因并采取相应措施。

1 监测数据出现异常；

2 监测数据达到监测预警值；

3 地震、降雨等引起异常情况；

4 机场相关单位或航空公司报告异常情况；

5 其他异常情况。

3.0.12 全场的监测网布设、监测数据分析应统一考虑。建设期监测使用的平面坐标系统和水准高程系统应与运营期监测保持一致。

3.0.13 宜建立统一的监测系统平台，并采用对施工和运营低干扰的监测新技术和新设备。环境条件复杂时应应对监测设施采取保护措施，建设期应采取减少施工对监测设施的影响，运营期监测不得危及机场运行安全。

3.0.14 同一监测目标工程的数据平台应统一建设，监测设备的维护、更换与升级应确保监测数

据的连续性。

3.0.15 监测系统应满足下列要求：

1 监测系统应包括监测仪器设备、数据采集装置、计算机及外部设备、网络通信设备、电源及防护设备、监测管理软件等。

2 监测系统的关键技术和设备，应根据工程的实际需要和机场建设运行环境，采用成熟、可靠的技术。

3 监测系统应采用先进的硬件设备、网络平台、开发技术，系统宜具有一定的超前性，并能利用标准化开发工具加以扩展和升级。

4 监测设备应优先选用经过长期测试稳定可靠的产品，主要性能满足相应的规范要求。

5 数据采集通信介质根据实际需要选定有线或无线形式，必要时应具备能够支持多种有线、无线通信组网方式和主备信道自动切换的功能。

6 系统电源、系统防雷应满足工程需要，数据自动采集装置、网络通信、系统电源等宜独立设置防雷装置，并可靠接地。

7 系统管理软件应具有监测数据存储、编辑、查询、导出与备份、数据可靠性检验、报表与曲线分析、预警提醒及信息推送、工程文档及影像资料管理等功能。

4 地下水监测

4.0.1 建设期应对影响机场建设的地下水进行监测，监测内容宜包括地下水动态、影响地下工程施工的地下水位（头）、影响边坡工程施工的地下水位及孔隙水压力、场区内泉水的流量、盲沟出水口的浑浊度等。

4.0.2 运营期应对影响机场运营安全的地下水进行监测，监测内容可包括地下水动态、影响边坡稳定的地下水位及孔隙水压力、流入流出边坡的水量、盲沟出水口的浑浊度等。

4.0.3 地下水监测范围应涵盖机场工程建设区及有密切水力联系的相邻区域，根据需要可适当外扩。

4.0.4 地下水动态监测项目应根据工程需要确定，可包括地下水水位、流向、流速、水温、水质、地下水露头点的流量、孔隙水压力等。

4.0.5 地下水动态监测点的布设宜结合各阶段的勘察工作实施，也可根据需要专项实施。监测区内存在多个水文地质单元时应按水文地质单元分区布置，同一水文地质单元内至少应有 1 条水位监测线或 3 个水位监测点。

4.0.6 机场工程建设导致拟建场地地形地貌改变较大时，地下水监测方案应考虑工程建设可能引起水文地质条件变化的因素。

【条文说明】机场建设涉及范围通常较大，当填挖高度大时，工程建设不仅对拟建场地地形地貌改变较大，同时也会改变拟建场地的水文地质条件，水文地质条件的改变反过来又会对机场建设和运营造成影响，因此，编制地下水监测方案时应考虑工程建设可能引起水文地质条件变化的因素。

4.0.7 需要监测多层地下水时，应在地下水观测井中采取有效隔水措施，隔断目标含水层与其他含水层的直接水力联系。

4.0.8 孔隙水压力计埋设应根据布设的数量及土的性质等条件，选用钻孔埋设法、压入埋设法和填埋法等；在同一孔中设置多个孔隙水压力计时，宜采用钻孔埋设法。

4.0.9 边坡工程地下水监测的范围应涵盖边坡稳定影响区，监测项目主要为含水层中的地下水位，必要时监测相对隔水层中的孔隙水压力、流入流出边坡的水量等。

4.0.10 基坑工程、暗挖工程应主要监测对工程安全有影响的地下水水位（头），基坑工程地下水监测点宜布置在基坑周边，暗挖工程地下水监测点宜沿暗挖线路布置。

4.0.11 地下水监测宜贯穿建设期与运营期，监测频率可按下列规定并考虑施工进度、地域及季节等因素适当调整：

- 1 地下水动态的监测频率，建设期宜为 15 天~30 天 1 次，运营期宜为每月 1 次；

2 施工期间基坑工程及暗挖工程的地下水监测频率宜为 3 天 1 次；

3 施工期间边坡工程地下水监测频率宜为 3 天 1 次，施工后及运营期边坡工程的地下水监测频率宜为每月 1 次；

4 有异常情况或暴雨过后应适当加密。

4.0.12 填海工程地下水位与潮水位的监测，宜符合下列要求：

1 监测内容应包括陆域形成后地下水位与潮水位；

2 监测断面宜不少于 3 个，同一断面监测点间距宜不大于 100m；

3 应选择包含设计高水位、低水位的若干天进行连续观测，直至获得稳定的地下水位与潮水位关系。

5 地基与场地监测

5.1 一般规定

5.1.1 飞行区地基或场地存在下列岩土体条件时，应进行监测：

- 1 对道面沉降或道面服役状态产生不利影响的软弱土地基、填方地基、填海地基，及湿陷性土、盐渍土、膨胀土、冻土地基，应对飞行区道面影响区地基进行监测；
- 2 对场地与地基变形产生不利影响地下工程，应对地下工程影响区进行监测；
- 3 影响场地稳定的不良地质作用，应对不良地质作用场地进行监测；
- 4 产生变形并影响导航台站设备运行的岩土体，应对导航台站场地进行监测。

【条文说明】地基是承受建（构）筑物荷载的天然或人工填筑的土（岩）体，场地指的是飞行区及周边边坡等影响飞行区安全的区域。条文中的软弱土地基指物理力学性质差，容易产生沉降、稳定问题的软土、填土及其他高压缩性土；不良地质作用指岩溶、滑坡、地面沉降等，导航台站场地指助航灯光设施场地仪表着陆系统场地保护区。软弱土地基、填方地基、填海地基、湿陷性土、盐渍土、膨胀土、冻土地基在工况荷载下会产生沉降，下穿工程影响区地基易出现不均匀变形，不良地质作用可能影响场地稳定，进而导致道面产生病害、影响设施设备正常运行。通过监测，及时掌握地基与场地的工作或服役状态，保证工程质量与安全。

5.1.2 地基与场地的监测点布设应满足下列要求：

- 1 飞行区道面影响区监测点应根据监测对象、工程规模和工程特点，按照监测方案进行布设；监测点应能全面反映监测对象的整体状况。
- 2 地下工程影响区场地监测点应布设在地基条件变化大、水文条件复杂、环境敏感的部位，明挖工法应对回填体进行监测。
- 3 不良地质作用场地监测点应根据不良地质作用类型、分布、规模等布设；导航台站场地监测点应根据地基条件和设施对场地的要求布设。
- 4 不同监测项目的监测点的布置应便于数据关联分析，并能全面反映监测对象的整体状况。

【条文说明】不同监测项目的监测数据分析时，需考虑其耦合关系，如沉降与地下水的关系、分层沉降与总沉降的关系，其监测点就近或在同一断面布设，是为了满足数据关联分析的需要。

5.1.3 地基与场地的监测时长、监测周期应根据地质条件、工程特点、建设期施工进度和运营期服役性能确定，并应满足下列要求：

- 1 监测时长应涵盖建设期并监测至地基与场地变形稳定；
- 2 监测周期应先短后长；

- 3 监测数据变化较大时，应缩短监测周期；
- 4 监测过程应保证监测数据的连续性、有效性和完整性；
- 5 相互关联的监测项目，宜在同一时间段进行观测。

【条文说明】条文中的服役性能指机场运营期间反映地基与场地工作或使用状态的指标，如工后沉降、工后差异沉降、地面坡度、变形速率等。

5.2 飞行区道面影响区地基监测

5.2.1 飞行区道面影响区地基监测项目应根据地质条件和工程特点等确定，并符合表 5.2.1 的规定。

表 5.2.1 飞行区道面影响区监测项目

监测阶段	地基条件		监测项目				
			表面沉降	分层沉降	原地基沉降	孔隙水压力	地下水位
建设期	软弱土地基	$s_1 < 200\text{mm}$	○	—	—	—	—
		$200\text{mm} \leq s_1 < 500\text{mm}$	●	○	—	○	○
		$s_1 \geq 500\text{mm}$	●	○	—	●	○
	填方地基	$H < 20\text{m}$	○	—	○	○	○
		$20\text{m} \leq H < 50\text{m}$	●	○	○	○	○
		$H \geq 50\text{m}$	●	●	○	○	○
运营期	软弱土地基和填方地基	$s_2 < 200\text{mm}$	○	—	—	—	—
		$s_2 \geq 200\text{mm}$ 或 $i > 1\%$	●	—	—	—	○

注：1 表中 s_1 为计算的地基总沉降量， s_2 为预测的工后沉降， H 为填方高度， i 为预测的工后差异沉降。

2 ●为应测项目，○为选测项目。

3 软土地基计算总沉降量大于 500mm 且采用堆载预压工艺时，宜增加水平位移监测。

4 填海地基应根据原地基条件、填海工艺和填筑材料，参照软弱土地基确定监测项目，并宜利用填海工程监测成果。

【条文说明】填海机场建设一般可分为填海工程阶段和机场工程阶段，《民用机场填海工程技术规范》（MH/T 5060）规定了填海工程阶段陆域形成、地基处理的监测要求，但不涉及机场工程跑道、滑行道、机坪等飞行区道面影响区监测。为满足机场工程要求，机场工程阶段飞行区道面影响区地基还需按本规范进行建设期和运营期监测。考虑到填海地基一般属于软弱土地基，机场工程阶段可参照软弱土地基进行监测，并充分利用填海工程监测成果，以节约监测成本、提高监测数据的连续性。

5.2.2 建设期地基表面沉降监测点布置时宜符合下列要求及合表 5.2.2 的规定：

1 跑道、滑行道及道面以外的服务车道区域沿中心线布置监测点；填方区内当垂直跑道方向地面坡度较大时，应在道肩边线设置一定数量的监测点。

- 2 机坪区域的监测点可按方格网布置。
- 3 地层变化较大处、填挖交界处、填方区原地面坡度较大处宜增设监测点。

表 5.2.2 建设期地基表面沉降监测点布置间距

地基条件		监测点间距 (m)			
		跑道	滑行道	机坪	服务车道 (非道面)
软土地基	$s_1 < 200\text{mm}$	100	100	100	—
	$200\text{mm} \leq s_1 < 50\text{mm}$	75	75	100	100
	$s_1 \geq 50\text{cm}$	50	50	75	75
填方地基	$H < 20\text{m}$	100	100	100	—
	$20\text{m} \leq H < 50\text{m}$	75	75	100	100
	$H \geq 50\text{m}$	50	50	75	75

注：表中 s_1 为计算的地基总沉降量， H 为填方高度。

5.2.3 建设期地基分层沉降监测点和原地基沉降监测点布置时宜符合下列规定：

- 1 分层沉降监测点布置时，其数量宜为需监测分层沉降区域内表面沉降监测点数量的 5%~10%，且不少于 1 个；
- 2 原地基沉降监测点布置时，其数量宜为需监测原地基沉降区域内表面沉降监测点数量的 5%~10%，且不少于 1 个；
- 3 分层沉降监测点和原地基沉降监测点同时布置时，应靠近表面沉降监测点，其平面分布应能反映监测区的沉降特征；
- 4 分层沉降标（环）宜沿垂直方向在代表性的地层和填筑体内均匀布置，埋设间距不宜大于 5m，埋置深度宜至压缩层底，原地基内的地层分界线处宜布置分层沉降标（环）。

5.2.4 建设期地基孔隙水压力和地下水位监测点布置应符合下列规定：

- 1 需要监测孔隙水压力和地下水位的区域，孔隙水压力和地下水位监测点的平面分布应能反映地下水的特征；
- 2 孔隙水压力测点应布置在粘性土地层，土层较厚时可每隔 3m~5m 设一个测点。

5.2.5 建设期用于判定道面施工时机的最小监测时长应满足沉降分析、预测需要并符合设计要求，并应符合表 5.2.5 的规定：

表 5.2.5 判定道面结构层施工时间的最小监测时长

原地基条件	填方情况		最小监测时长 (月)
软弱土地基	填土	$s > 200\text{mm}$ 或 $H = 10\text{m} \sim 30\text{m}$	6
		$H > 30\text{m}$	12
	填石	$s > 200\text{mm}$ 或 $H = 10\text{m} \sim 30\text{m}$	5
		$H > 30\text{m}$	8
非软弱土地基	填土	$H = 10\text{m} \sim 30\text{m}$	5
		$H > 30\text{m}$	8
	填石	$H = 10\text{m} \sim 30\text{m}$	3
		$H > 30\text{m}$	6

注：1 表中 s 为计算的原地基沉降量， H 为填方高度。

2 软弱土地基按照复合地基处理后可按照非软弱土地基考虑。

3 填方地基下部存在软弱土时，取软土地基和填方地基中二者的大值。

5.2.6 建设期地基监测频率应符合下列规定：

- 1 地基处理和土石方施工期间每周应至少监测 1 次，土石方填筑较快时，每填筑 2m~4m 应监测 1 次；
- 2 地基处理、土石方施工完工至道面施工前，每周应至少监测 1 次；
- 3 道面施工完成后，每 2 周应至少监测 1 次。

5.2.7 运营期地基表面沉降监测提倡采用自动化监测技术，监测点应根据建设期沉降监测成果布置并应能反映沉降特征，如采用水准测量，监测点应靠近建设期的监测点布置。

5.2.8 运营期地下水位监测应符合本规范第 4 章的规定。

5.2.9 运营期的地基应监测至变形稳定为止，前 3 年每 3 个月监测 1 次，以后每年监测 1 次。

5.2.10 当飞行区道面影响区存在湿陷性土、盐渍土、膨胀土和冻土地基时，运营期监测还应符合下列要求：

- 1 湿陷性土地基应监测地基沉降和地下水位；
- 2 盐渍土地基应监测含水率和地温，具备条件时应监测含盐量；
- 3 膨胀土地基应监测地基隆起和含水率；
- 4 冻土地基应监测地温、冻胀和融沉，地温监测深度应至非冻土层内 2m~3m。

5.2.11 道面施工时机的确定应以建设期地基监测结果为依据，运营期地基监测结果可作为道面服役性能的评价依据。

5.3 地下工程影响场地监测

5.3.1 明挖法施工监测应符合《建筑基坑工程监测技术标准》（GB50497）的规定，不停航施工区域的基坑监测宜采用自动化技术。

5.3.2 明挖法基坑回填区位于飞行区道面影响区时，回填至道基顶面后应进行地表沉降和土体分层沉降监测。应垂直于基坑轴线方向布置横向监测断面，横向监测断面的监测点数量宜不少于 5 个，横向监测断面的间距不宜大于 50m，监测频率可参照本规范第 5.2 节确定。

5.3.3 暗挖法隧道施工影响监测项目应包含周边地表变形、深层土体位移、地表裂缝、地下水位、孔隙水压力等。

【条文说明】暗挖法实施的隧道工程包括民航专业工程和其他工程，民航专业工程暗挖法主要为盾构法、浅埋暗挖法、顶管法和水平定向钻法等，其他工程如高铁、地铁工程、市政工程等。

5.3.4 盾构法隧道周边地表变形监测断面及监测点布设应符合下列规定：

- 1 监测点应沿隧道轴线上方地表布设，且应覆盖其影响范围，当穿越机场跑道、滑行道、站

坪、导航建（构）筑物、航油管线等区域时，监测点纵向间距宜为 5m~10m；当穿越其他区域，监测点纵向间距宜为 10m~30m；盾构始发和接收段应适当增加监测点。

2 监测点应根据周边环境和地质条件布置垂直于隧道轴线的横向监测断面，当穿越机场跑道、滑行道、站坪、导航建（构）筑物、航油管线区域时，监测断面间距宜为 10m~30m；存在地层偏压、围岩软硬不均、地下水位较高等地质条件复杂区段应布置监测断面，监测断面间距宜为 30m~50m；当穿越其他区域，监测点间距宜为 50m~100m。

3 横向监测断面的监测点数量宜不少于 7 个，当穿越机场跑道、滑行道、站坪、导航建（构）筑物、航油管线区域时监测点间距宜为 3m~5m，其他监测点间距宜为 5m~10m。

5.3.5 盾构法隧道周围土体深层水平位移和分层竖向位移监测孔及监测点布置应符合下列规定：

1 软弱土、膨胀性岩土、湿陷性土、土溶洞、破碎带等地质条件复杂地段和特殊性岩土地段，应布置监测孔及监测点。

2 盾构法隧道下穿机场跑滑区域、导航台站及地下管线等地段，应布置监测孔及监测点。

5.3.6 盾构法隧道工程施工中地表变形的监测频率根据表 5.3.6 确定；

表 5.3.6 盾构法隧道工程监测频率

监测部位	监测对象	开挖面至监测点的距离	监测频率
开挖面前方	地表变形和周围环境	$5D < L \leq 8D$	1 次 / (3d~5d)
		$3D < L \leq 5D$	1 次 / 2d
		$L \leq 3D$	1 次 / 1d
开挖面后方	管片周围、地表变形和周围环境	$L \leq 3D$	(1 次~2 次) / 1d
		$3D < L \leq 8D$	1 次 / (1d~2d)
		$L > 8D$	1 次 / (3d~7d)

注：1 D 为盾构法隧道开挖直径（m）， L 为开挖面至监测点距离（m）；

2 浅埋隧道应适当加密监测频率；

3 监测数据趋于稳定后，监测频率宜为 1 次 / (15d~30d)。

5.3.7 孔隙水压力监测孔应布置在地表变形较大、饱和软弱土、易产生液化的粉细砂土层等有代表性的部位；竖向监测点间距宜为 2 m~5 m，且数量不宜少于 3 个。

5.3.8 浅埋暗挖法周边地表变形监测断面及监测点布置应符合下列规定：

1 监测点应沿隧道轴线上方地表布置，当穿越机场跑道、滑行道、站坪、导航建（构）筑物、航油管线区域时，监测点纵向间距宜为 5m~10m；穿越其他区域，监测点纵向间距宜为 10m~30m；

2 根据周边环境和地质条件布置垂直于隧道轴线的横向监测断面，当穿越机场跑道、滑行道、站坪、导航建（构）筑物、航油管线区域时，沿地表布置垂直于隧道轴线的横向监测断面，横向监测断面间距宜为 10m~30m，横向监测断面的监测点数宜不少于 7 个，监测点间距宜为 3m~5m；其穿越其他区域，横向监测断面间距宜为 30m~50m，监测点间距宜为 5m~10m。

5.3.9 浅埋暗挖法隧道工程施工中地表变形的监测频率根据表 5.3.9 确定；

表 5.3.9 矿山法隧道工程监测频率

监测部位	监测对象	开挖面至监测点的距离	监测频率
开挖面前方	地表变形和周围环境	$2B < L < 5B$	1 次/2d
		$L \leq 2B$	1 次/1d
开挖前后方	地表变形和周围环境	$L \leq 1B$	(1 次~2 次) /1d
		$1B < L \leq 2B$	1 次/1d
		$2B < L \leq 5B$	1 次/2d
		$L > 5B$	1 次/ (3d~7d)

注：1 B 为矿山法隧道或导洞开挖宽度（m）， L 为开挖面至监测点或监测断面的水平距离（m）；

- 2 当拆除临时支撑时应增大监测频率；
- 3 浅埋隧道应增大监测频率；
- 4 监测数据趋于稳定后，监测频率宜为 1 次/（15d~30d）。

5.3.10 地下水位观测孔和监测频率应根据水文地质条件复杂程度、地下水控制要求、地下工程的服役状态等因素确定，明挖法地下工程水位监测点的布置和监测频率应符合《建筑基坑工程监测技术标准》（GB50497）的规定，暗挖法地下工程结合地下水对工程的影响程度确定。

5.3.11 暗挖地下工程穿越既有跑道、滑行道、机坪区域监测控制值和差异沉降等变形控制指标，应结合地质条件复杂程度、工程特点、飞机运营安全考虑等因素综合确定。

【条文说明】目前机场范围暗挖法隧道引起跑道、滑行道区域沉降控制值存在差异，经调研，穗莞深城际下穿深圳机场滑行道及机坪的沉降控制标准为：工后一年内，沉降不大于 2cm；差异沉降不大于 1.5‰；长赣高铁下穿长沙黄花机场滑行道与端安全区的沉降控制标准为：施工期及工后一年内，累计总沉降不大于 3cm；差异沉降不大于 2‰，水泥混凝土道面 3m 内的标高差值不得大于 10mm。

5.3.12 运营期下穿工程影响区场地表面沉降和水平位移监测点应根据地质条件、下穿工程埋深、施工工法和需要布置。

5.3.13 机场运营期下穿工程影响区场地每 6 个月监测一次，若在观测期间发现异常或特殊情况，应提高监测频率。

5.3.14 顶管工程、水平定向钻地下工程应对其穿越影响范围内地面建（构）筑、地下管线、地表位移、地表裂缝、地下水位等进行监测，监测频率和监测预警值根据设计文件或产权单位允许沉降范围等综合确定。

5.3.15 暗挖法地下工程穿越机场工程的施工影响监测宜进行远程自动化实时监测。

5.4 通信导航设施场地监测

5.4.1 运营期应对仪表着陆系统场地保护区进行地表沉降监测，对助航灯光设施场地进行表面沉

降监测和水平位移监测。

5.4.2 运营期填方区仪表着陆系统场地保护区地表沉降监测点布置应符合下列规定：

- 1 航向信标台场地保护区监测点宜沿跑道端与天线之间及垂直方向布置；下滑信标台保护区监测点可按方格网布置。
- 2 监测点宜布置在地形条件复杂区域并满足保护区坡度变化的监测需求。

【条文说明】仪表着陆系统场地保护区是指仪表着陆系统航向信标天线和下滑信标天线附近的一个规定区域，该区域是形成稳定可靠导航信号的关键区域，其地面坡度、平整度及障碍物等应符合要求。《民用航空通信导航监视台（站）设置场地规范》规定，航向信标台场地保护区场地应平坦，跑道端与天线之间的纵向坡度和横向坡地均应在 $\pm 1\%$ 之间，并应平缓过渡；下滑信标台的场地保护区 A 区内纵向坡度与跑道坡度相同，横向坡度不应大于 $\pm 1\%$ ，并平整到 $\pm 4\text{cm}$ 的高差范围内；B 区地面应尽可能平坦；C 区内地形坡度不应超过 15%。

5.4.3 运营期填方区助航灯光设施场地表面沉降和水平位移监测点布置应符合下列规定：

- 1 监测点应在 PAPI 灯两侧对称均匀布置，数量不宜少于 4 个。
- 2 监测点应距离 PAPI 灯基础外边缘 3m~5m。

【条文说明】根据《民用机场助航灯光系统运行维护规程》（AP-140-CA-2009-1），运营期每年均应对每台 PAPI 灯具基础是否出现位移或沉降进行检查。对 PAPI 灯所在的填方地基进行变形监测，有助于判定灯具变形是否由于场地变形引起，并根据场地变形预测灯具的变形规律。

5.4.4 机场运营期助航灯光设施场地、仪表着陆系统场地保护区场地监测频率应符合下列规定：

- 1 助航灯光设施场地每 6 个月监测一次；
- 2 仪表着陆系统场地保护区监测频率应结合校飞周期确定，且每年至少监测两次；
- 3 若在观测期间发现异常或特殊情况，应提高监测频率。

5.5 不良地质作用场地监测

5.5.1 岩溶场地运营期的监测应符合下列要求：

- 1 厅堂式或大型溶洞在溶洞上方设置表面沉降监测点；
- 2 地下暗河应监测地下水位（头）；
- 3 监测频率根据岩溶发育情况确定。

5.5.2 滑坡场地建设期和运营期的监测应符合下列要求：

- 1 监测项目应包括不同深度岩土体横向水平位移、地下水、孔隙水压力、裂缝、结构内力等；
- 2 滑坡遥感监测应与地面监测相结合。空间上，应覆盖已发生的滑坡体，还应包含潜在的新滑坡体；时间上，与地面监测频率一致，相互验证和补充；
- 3 定时、定点监测点与点之间的相对位移或裂缝变化（张开、闭合、沉降、抬升、错动等）；

4 地下水的水位监测执行第 4 章的规定，同时，还应监测滑体范围内外的地下水流向、流速、孔隙水压力。

5 上述监测点间距与频率视滑体规模、滑带深度等实际因素确定。

5.5.3 地面沉降场地建设期和运营期的监测应符合下列要求：

1 建立地面沉降测量控制网。

2 采用精密水准测量、GNSS 测量、InSAR 测量等技术手段，综合测量地面沉降的动态变化。监测频率根据所选用的技术手段、工程重要性等综合确定。

3 精密水准测量应以基岩测点为基准点，测量等级根据工程重要性、沉降速率等因素确定。

4 GNSS 测量宜设立强制对中装置的观测墩。

5 InSAR 测量应根据测量精度选用不同波段的卫星数据。

6 精密水准测量与 GNSS 测量的监测点间距根据测量范围、沉降速率等因素综合确定，测点应埋设永久性标志，并采取稳固耐久、防腐蚀、保持垂直稳定等保护措施。

6 边坡监测

6.1 一般规定

6.1.1 高度超过 5m 或高度未超过 5m 但条件复杂的土质边坡应进行边坡监测。存在外倾软弱层的岩质边坡、高度超过 5m 且坡率陡于 1:2 的岩质边坡应进行边坡监测。

【条文说明】比照超过一定规模的危大工程的规定，对于高度超过 5m 的边坡进行监测，同时考虑到岩质边坡一般为挖方边坡，机场建设中出于净空的需要，挖方边坡坡率一般较缓，但不排除有坡率较陡的边坡存在，通常情况下坡率缓于 1:2 的岩质边坡稳定性较好，监测工作可适当减免，但存在外倾软弱层时往往边坡稳定性差，此时边坡监测工作格外重要。

6.1.2 边坡监测项目的选取和监测点的布设应针对边坡的关键部位和危险区域，且各监测成果应能形成互为补充、互相验证的监测体系，不同监测项目的监测点宜布置在同一监测断面上。

6.1.3 边坡监测应采用仪器测量与现场巡视检查相结合的方式进行。

6.1.4 边坡运营期监测频率应为前 6 个月每月 1 次，以后每 3~6 个月 1 次且每年雨季应至少监测 1 次，在暴雨后或出现异常时应增加监测。

6.2 坡体监测

6.2.1 建设期和运营期坡体应进行坡面竖向和水平位移、深层水平位移监测，软弱土地基的填方坡体应增加软弱土地基孔隙水压力监测，冻土地基坡率陡于 1:1.75 或边坡高度大于 4m 的挖方边坡应增加地温监测，水文地质条件复杂时宜增加地下水监测和流量监测。

【条文说明】条文所述坡体是指填方边坡和挖方边坡。

6.2.2 坡面竖向及水平位移监测点应沿垂直坡顶线方向布置监测断面，通过坡脚线最低处断面为主要监测断面。每个监测断面的监测点布置应反映边坡变形特征，可在坡顶、坡面、坡脚处布置，必要时可在坡顶内侧和坡脚外侧增加布置，坡面的测点可设置在马道上，并避开上级边坡坡脚不

小于0.5m，竖向间距可为10m~30m。

6.2.3 地基条件较差、填方高度较大、顺坡填筑时，应在监测断面设置深层水平位移监测点，监测断面较长时可沿边坡位移方向增加监测点数量。监测点孔深应至最不利滑动面以下5m。边坡变形过大无法继续监测时，应重新就近设置监测点继续监测。

6.2.4 地下水监测和流量监测应对原地基和填筑体分别进行监测，并符合下列规定：

1 监测内容应包括水位、水量、浑浊度；

2 原地基监测点应布置在泉水和盲沟出水口处；

3 建设期填筑体监测点应沿主监测断面布置在填筑体内排水层、排水盲沟中下部、土料与石料分层时的土料顶部，监测点平面间距100m~200m，竖向间距宜不大于20m。运营期填筑体监测点应布置在填筑体盲沟出水口处。

6.2.5 地下水位和孔隙水压力监测应符合本规范第4章和第9章的规定。

6.2.6 建设期监测频率应符合下列规定：

1 边坡施工期间应每周至少监测1次，当填挖速度较快时，每形成一级边坡均应监测1次。

2 边坡施工完工后，第1个月内宜每周监测1次，以后宜每半个月监测1次。

3 填挖方边坡采用支挡结构时，坡体的监测频率应符合第6.3节的规定。

6.3 支挡结构监测

6.3.1 边坡支挡结构监测项目应根据结构形式确定。对于重力式挡土墙，在施工期间应监测墙趾部位的水平位移和竖向位移，竣工后至投运及运营期，应监测挡土墙顶部的水平位移和竖向位移；对于桩板式、扶壁式挡土墙，建设期和运营期应监测桩顶、墙顶的水平位移和竖向位移，必要时还应进行深层水平位移监测；对预应力锚杆，建设期和运营期应进行锚杆轴力监测。

6.3.2 边坡支挡结构的水平位移和竖向位移监测点的水平间距不宜大于30m，且每段边坡范围内监测点的数量不应少于3个。监测边坡支挡结构深层水平位移时，每段边坡的监测点数量不宜少于3个。

6.3.3 预应力锚杆轴力监测断面的平面位置应选择在设计计算受力较大且有代表性的位置。相同设计参数锚杆的内力监测点数量应不少于该组锚杆总数的1%，且不应少于3根。各层锚杆轴力监测点位置在竖向上宜保持一致。

6.3.4 采用测斜仪监测边坡支挡结构深层水平位移时，测斜管应埋设在支挡结构内，深度宜与支挡结构入土深度相同。深层水平位移测量方向应平行于支挡结构横断面方向。

6.3.5 施工期间边坡支挡结构的监测频率宜为每 2~3 天 1 次，可根据施工进度适当调整，有异常情况时应适当提高。边坡工程竣工后应继续监测，监测频率宜为每月 1 次。

7 飞行区建（构）筑物监测

7.1 一般规定

7.1.1 建（构）筑物监测对象应包括道面、飞行区桥梁、下穿通道、建筑物等。

7.1.2 设计阶段应对需要监测的建（构）筑物提出监测要求。

7.1.3 运营期道面监测内容应包括环境（温度）、作用（荷载）、服役结构性能（无飞机荷载时静态监测、有飞机荷载时动态监测）、功能性能（水膜厚度）及状态（道面全域沉降、道基沉降）监测。

7.1.4 暗挖法施工的飞行区下穿通道在建设期和运营期应进行监测。

7.2 道面监测

7.2.1 运营期道面监测需求应根据表 7.2.1 确定，监测内容应包括道面结构内部应变、结构分层位移、结构内部温度、飞机荷载下的道面结构振动等。

表 7.2.1 道面监测需求确定表

航空交通量等级	运行飞机的最大重量（吨）	单条跑道设计年限内 C 类及以上机型的年平均起飞架次（次）	监测需求
特轻	≤27	—	—
轻	>45	≤10 000	可监测
中	>75	10 000~50 000	宜监测
重	>150	>50 000	应监测

【条文说明】道面监测是采用传感设备与通讯技术，通过远程网络平台智能控制，实现运营期道面工程结构内部状态数据的实时自动采集、传输、储存、处理、分析、显示、报警等功能的活动。道面检测是根据实际使用情况定期开展道面各项使用性能的测试与评价，按照《民用机场道面现场测试规程》（MH/T 5110）实施。长期、实时、准确的道面监测数据是定期检测数据的有益补充，是道面性能科学评价与分析的必要前提，是道面管理数字化、精细化和智能化的重要举措。

7.2.2 道面监测范围应涵盖跑道主降端转向区、接地带区、滑跑区、次降端着陆区等飞机起降区域和飞机转向区域，监测层位宜涵盖基层顶面和道基顶面，采用分布式、点式监测设备，布设方

式可采用预埋设法、钻孔埋设法等。对于填挖交界处、新旧道面交界处以及沟槽回填区域的道面，可适当扩展监测范围。

7.2.3 道面结构应变可采用应变计、振动光纤等进行监测。同一监测断面中各监测点间距不宜大于 2m。静态应变监测设备的采集频率应不低于 5Hz，动态应变监测设备的采集频率应不低于 50Hz，静动态应变监测设备量程应不低于 1500 $\mu\epsilon$ ，精度应不低于 5 $\mu\epsilon$ 。

【条文说明】飞机荷载作用或环境作用下的道面竖向变形量监测通常通过监测道面结构应变来实现。

7.2.4 道面结构分层位移可采用位移计、振动光纤等进行监测。同一监测断面中各监测点间距不宜大于 2m。监测设备的采集频率应不低于 5Hz，量程应不低于 100mm，精度应不低于 0.1mm。

【条文说明】道面面层与基层的相对位移监测通常通过监测道面结构分层位移来实现。

7.2.5 道面结构温度可采用温度计、温度传感线缆等进行监测。同一监测断面中各监测点间距不宜大于 2m，其采集频率应不低于 5Hz，量程应满足 -50 $^{\circ}\text{C}$ ~120 $^{\circ}\text{C}$ 范围，精度应不低于 0.1 $^{\circ}\text{C}$ 。

7.2.6 道面结构振动可采用加速度计、振动光纤等进行监测。同一监测断面中各监测点间距不宜大于 2m，其采集频率应不低于 1000Hz，量程应不低于 10g，精度应不低于 100 μg 。

7.2.7 道面结构内部变形量、道面结构相对位移以及道面结构温度监测频率宜为每天 3 次，道面结构振动监测频率宜为每架次 1 次。

7.2.8 监测传感器件埋设完成后，应立即进行检查测试，并逐日测量，直至读数稳定为止，以稳定的读数作为初始读数，监测过程应保证监测数据的连续性、有效性和完整性。

7.3 飞行区服务车道桥梁监测

7.3.1 飞行区服务车道桥梁监测项目宜包括环境、荷载作用、结构响应、结构变化，应采用自动化监测并符合表 7.3.1 的规定，飞机荷载桥梁监测应符合《民用机场飞机荷载桥梁结构健康监测技术规范》的规定。

表 7.3.1 飞行区服务车道桥梁监测项目及采样频率

监测类别		监测项目	监测选项	采样频率 (Hz)
环境	温度	环境温度	●	1/600
		构件温度	○	1/600
	湿度	环境湿度	○	1/600
作用	车辆荷载	行驶速度	○	触发采集
		所有车道车流量	○	触发采集

监测类别		监测项目	监测选项	采样频率（Hz）
	地震	所有车道车辆空间分布 视频图像	●	连续监测 视频:25 FPS
		桥墩底部加速度 (抗震设防烈度为Ⅶ度及以上)	●	触发采集, 50
		桥墩底部加速度 (抗震设防烈度为Ⅶ度以下)	○	
结构 响应	位移/变形	主梁关键截面挠度	●	≥5
		梁端纵向、横向位移	○	1
		支座位移	○	1
	动力特性	主梁竖向振动加速度	●	关注动态响应最大频率 的 8~20 倍
		主梁纵向振动加速度	○	
	应变	主梁关键截面应变	●	≥10
	裂缝	结构裂缝	●	动态: 10 静态: 1/3600 图像: 每周 1 次
支座	反力	○	1	
结构 变化	腐蚀介质	氯离子含量	○	在线: 1/600 离线: 每年 1 次~2 次
		墩身、承台混凝土侵蚀深度	○	
	墩台沉降	墩台竖向位移	○	在线: 1/600 离线: 每年 1 次~2 次

注：“●”表示应监测项，“○”表示宜监测项。

【条文说明】《民用机场飞机荷载桥梁设计指南》（MH/T 5063）指出：根据民用机场的区域划分，考虑桥梁的功能和结构承受的可变作用等因素，民用机场桥梁分为汽车荷载桥梁和飞机荷载桥梁两大类。本规范适用于飞行区服务车道桥梁监测工作，飞机荷载桥梁监测参照《民用机场飞机荷载桥梁结构健康监测技术规范》。

7.3.2 飞行区服务车道桥梁毗邻轨道工程时应进行墩台沉降和倾斜监测，观测点宜布设在桥墩顶部，数量根据墩台形式确定。

7.3.3 监测点位置应符合下列要求：

- 1 应选择受力最不利、技术状况较差、损伤缺陷突出的代表性桥跨或断面进行监测；
- 2 多梁（肋）式结构应选择结构横向受力最不利、横向联系薄弱、荷载轮迹带位置附近的构件进行监测；
- 3 主梁振动测点应根据结构振型确定，宜布设在振型峰值点处，避开振型节点；
- 4 温湿度监测的测点应布置在桥面或桥下、温湿度变化大或对结构影响大的位置。

7.3.4 服务车道桥梁的技术状况等级应参照《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21）确定。

符合下列条件之一的服务车道桥，运营期宜设置结构监测系统：

- 1 有典型结构性病害加固历史的桥梁；
- 2 技术状况等级为 3 类及 3 类以上且需要跟踪观测的在役桥梁；
- 3 重载交通持续或周期性通行的重要桥梁；
- 4 特殊结构、特别重要的桥梁；
- 5 其他经评估需要建设结构监测系统的桥梁。

7.4 飞行区下穿通道监测

7.4.1 明挖法施工的飞行区下穿通道在施工期间应进行监测，并符合《建筑基坑监测技术规范》（GB50497）的规定，运营期飞行区下穿通道监测应结合下穿通道所处的位置和服役状态等因素确定。

7.4.2 暗挖法施工的飞行区下穿通道在建设期和运营期应进行监测，监测内容应包括竖向位移、净空收敛及洞口地表位移。

7.4.3 飞行区下穿通道等建构筑物处于软弱土地基或高填方地基场地且采用浅基础时，建设期应对场地沉降进行监测，并应符合下列要求：

- 1 浅基础施工前，根据基础形式、平面分布、地基条件确定沉降监测点位置和数量；
- 2 监测频率为每周至少 1 次；
- 3 监测时长应满足沉降预测的需要，当预测的工后沉降和工后差异沉降满足建构筑物允许值时停止监测。

7.4.4 暗挖法下穿通道变形监测点布置应符合表 7.4.4 的规定：

表 7.4.4 暗挖法下穿通道变形监测测点布置要求

监测项目	监测断面间距	监测点布置
竖向位移	5m~20m 一个断面	顶板/拱顶至少 1 处
净空收敛		水平向至少 1 条测线
洞口地表位移		洞顶至少 1 条测线

注：1 位于跑道、滑行道、机坪、导航建（构）筑物、航油管线等区域时取小值，位于土面区时取大值；

2 处于填挖交界面、地面坡度突变、地下水位较高、存在偏压及地质条件突变地段时取小值。

7.4.5 建设期下穿通道监测频率应为每天监测 1~2 次，相对稳定后可适当减小监测频率。

7.4.6 运营期下穿通道监测频率宜为第 1 年每季度监测 1 次，第 2 年每半年监测 1 次，以后每年监测 1 次。

7.5 飞行区建筑物监测

7.5.1 飞行区单体建筑基础施工前应对下列情况进行变形监测：

- 1 物采用浅基础时，地基填方高度大于 10m；
- 2 采用浅基础时，填方地基计算工后变形量和差异变形大于建筑地基变形允许值；
- 3 受临近深基坑开挖施工影响或受场地地下水等环境因素变化影响的建筑；
- 4 其他地基条件复杂需进行监测。

7.5.2 建筑场地监测并应符合下列规定：

- 1 监测点应结合建筑结构、形状和场地地质条件，并结合施工和建成后统筹考虑；
- 2 监测点应覆盖建构筑物及周边影响范围；
- 3 监测频率为每周至少 1 次；
- 4 监测时长应满足变形预测的需要，当预测的变形指标满足建构筑物允许值时停止监测。

7.5.3 建筑物的监测应符合《建筑变形测量规范》（JGJ 8）的规定。

8 施工影响监测

8.1 一般规定

8.1.1 进行强夯施工、爆破施工、降水等对机场内建构筑物产生不利影响的施工活动时，应对施工影响对象的安全或工作状态进行监测。

8.1.2 施工影响监测应依据下列资料编制监测方案：

- 1 岩土工程勘察报告、地形图；
- 2 工程周边建筑、道面、管沟、导航台站、助航灯光等的平面分布、结构类型、基础埋深、材质、使用情况等资料；
- 3 施工影响来源和施工影响对象的设计资料；
- 4 施工方案或施工组织设计。

8.1.3 施工影响监测方案应针对监测对象的关键部位进行重点监测，规定监测频率和监测预警值，分析、评估工程影响，及时反馈。

8.1.4 监测点设置应不妨碍监测对象的正常使用。

8.2 振动影响监测

8.2.1 机场施工存在爆破、强夯、强夯置换、冲击碾压及桩基等振动影响较大的施工工艺，且对周边环境有不利影响时应进行振动监测。

【条文说明】机场施工存在振动影响较大的施工工艺主要集中在地基处理和土石方施工阶段，机场振动敏感设施包括现状道面、航站楼、下穿通道、房建单体、塔台、灯光铁塔、导航设备边坡、基坑等。

施工振动会对周围环境、仪器仪表、人身健康等产生不利影响，因此在设计和施工应考虑振动对环境的影响。振动影响分为振动特征和振动影响两个方面，振动特征包括振源特征、振动方式、振动的传播和衰减规律等，振动对环境的影响包括振动的反应和监测对象对振动的承受能力。当监测对象对振动的反应大于承受能力时会产生不利影响，因此需结合振动特征和监测对象承受能力确定施工安全距离，以保障监测对象安全。工程施工前，应根据施工工艺、工程地质条件和周边环境，综合确定与保护对象的安全施工最小距离，必要时应在监测对象周边开挖隔振沟或者设置应力释放孔等防护措施。

8.2.2 机场施工对其他非机场设施造成影响时，其监测方案及监测控制值以其他行业标准为依据，尚无依据的应进行专家论证。

8.2.3 振动影响监测项目应以质点峰值振动速率和主振频率为主，必要时可根据监测对象特点增加其他监测项目。

【条文说明】振动的影响，可通过地基土振动的特性参数（包括振幅、频率、振动速度和振动加速度）来确定。施工振动研究中一般采用质点振动速率作为振动强度指标。为防止振动频率与建（构）筑物自振频率相近而引起的共振现象，应考虑监测对象的自振频率。

8.2.4 施工前可根据类似工程或现场实测波形图估算振动频率范围，施工过程中根据振动监测波形做频谱分析，计算主振频率。

8.2.5 振动影响对象为现状道面时，监测点应布置在距离振源最近的道面板。振动影响对象为现状建构筑物（航站楼、下穿通道、房建单体、塔台、灯光铁塔和导航设备等）时，监测点应布置在承重结构的最高点，现场条件不允许时，应布置在距离振源最近的现状建构筑物周边 1m 范围内的振动敏感区。振动影响对象为边坡和基坑时，监测点应布置在基坑和边坡坡顶边缘处。

8.2.6 每个监测对象应设置至少 1 个振动监测断面，监测断面不少于 3 个测点，监测断面应垂直于振动传播方向。

8.2.7 对振动敏感的振动影响对象，每个测点应同时测定质点振动相互垂直的三个分量。

8.2.8 振动监测点的灵敏度主轴方向应为铅垂向。

8.2.9 振动影响对象为现状道面、航站楼、下穿通道、房建单体、塔台、灯光铁塔、导航设备、基坑及边坡等时，监测控制值宜符合表 8.2.9 的规定。监测数据达到监测控制值时，应立即停止振动影响施工并巡查振动影响对象破坏情况。

表 8.2.9 振动影响监测控制值

序号	监测对象	安全允许质点振动速度 (cm/s)		
		$f < 10\text{Hz}$	$10\text{Hz} < f \leq 50\text{Hz}$	$f > 50\text{Hz}$
1	房建单体、塔台	1.5~2.0	2.0~2.5	2.5~3.0
2	航站楼	2.5~3.5	3.5~4.5	4.2~5.0
3	道面	7.0~8.0	8.0~10.0	10.0~12
4	下穿通道	10.0~12.0	12.0~15.0	15.0~20.0
5	灯光铁塔	设计要求		
6	导航设备	产品说明书或设计要求		
7	基坑、边坡	设计要求		

注：1 表中 f 为主振频率，质点振动速度为三个分量中的最大值。

2 频率范围根据现场实测波形确定。

3 选取监测控制值时，应综合考虑建（构）筑物的重要性、新旧程度、自振频率、地基条件等；监测对象处于运行状态时，按表中小值选取。

8.3 暗挖施工影响监测

8.3.1 暗挖法隧道施工影响监测项目应包含周边地表变形、深层土体位移、地表裂缝、地下水位、孔隙水压力等。

【条文说明】机场的隧道工程可能是民航专业工程，也可能是非民航专业工程，暗挖法主要包括盾构法、浅埋暗挖法等，不论何种工程，本条针对其施工影响进行了规定。

8.3.2 盾构法隧道周边地表变形监测断面及监测点布设应符合下列规定：

1 监测点应沿隧道轴线上方地表布设，当穿越机场跑道、滑行道、站坪、导航建（构）筑物航油管线、区域时，监测点纵向间距宜为 5m~10m；其穿越其他区域，监测点纵向间距宜为 10m~30m；始发和接收段应适当增加监测点。

2 应根据周边环境和地质条件布设垂直于隧道轴线的横向监测断面，且当穿越机场跑道、滑行道、站坪、导航建（构）筑物、航油管线区域时，监测断面间距宜为 10m~30m；存在地层偏压、围岩软硬不均、地下水位较高等地质条件复杂区段应布设监测断面，监测断面间距宜为 30m~50m；其穿越其他区域，监测点间距宜为 50m~100m。

3 横向监测断面的监测点数量宜为 7~11 个，且当穿越机场跑道、滑行道、航油管线、导航建（构）筑物区域时监测点间距宜为 3m~5m，其他监测点间距宜为 5m~10m。

8.3.3 盾构法隧道周围土体深层水平位移和分层竖向位移监测孔及监测点布设应符合下列规定：

1 软土、膨胀性岩土、湿陷性土、土溶洞、破碎带等地质条件复杂地段，等特殊性岩土地段，应布设监测孔及监测点。

2 盾构法隧道下穿机场跑滑区域、导航台站及地下管线等地段，应布设监测孔及监测点。

8.3.4 盾构法隧道工程施工中地表变形的监测频率根据表 8.3.4 确定。

表 8.3.4 盾构法隧道工程施工影响地表变形监测频率

监测部位	监测对象	开挖面至监测点的距离	监测频率
开挖面前方	地表变形和周围环境	$5D < L \leq 8D$	1 次 / (3d~5d)
		$3D < L \leq 5D$	1 次 / 2d
		$L \leq 3D$	1 次 / 1d
开挖面后方	管片周围、地表变形和周围环境	$L \leq 3D$	(1 次~2 次) / 1d
		$3D < L \leq 8D$	1 次 / (1d~2d)
		$L > 8D$	1 次 / (3d~7d)

注：1 D 为盾构法隧道开挖直径（m）， L 为开挖面至监测点距离（m）。

2 浅埋隧道应增大监测频率，浅埋隧道按其相应的行业判别标准执行。

3 监测数据趋于稳定后，监测频率宜为每 15d~30d 1 次。

8.3.5 孔隙水压力监测点布设应符合下列规定：孔隙水压力监测宜选择在地表变形较大、存在饱和和软土和易产生液化的粉细砂土层等有代表性的部位进行布设；竖向监测点宜在水压力变化影响深度范围内按土层分布情况布设，竖向监测点间距宜为 2m~5m，且数量不宜少于 3 个。

8.3.6 浅埋暗挖法施工的隧道周边地表变形监测断面及监测点布设应符合下列规定：

1 当隧道穿越机场跑道、滑行道、站坪、导航建（构）筑、物航油管线区域时，监测点应沿隧道轴线上方地表布设，监测点纵向间距宜为 5m~10m；其穿越其他区域，监测点纵向间距宜为 10m~30m；

2 应根据周边环境和地质条件，且沿地表布设垂直于隧道轴线的横向监测断面，当穿越机场跑道、滑行道、站坪、导航建（构）筑物、航油管线区域时，横向监测断面间距宜为 10m~30m，横向监测断面的监测点数宜为 7~11 个，监测点间距宜为 3m~5m；其穿越其他区域，横向监测断面间距宜为 30m~50m，其他监测点间距宜为 5m~10m。

8.3.7 矿山法隧道工程施工中地表变形的监测频率根据表 8.3.7 确定：

表 8.3.7 矿山法隧道工程监测频率

监测部位	监测对象	开挖面至监测点的距离	监测频率
开挖面前方	地表变形和周围环境	$2B < L < 5B$	1 次/2d
		$L \leq 2B$	1 次/1d
开挖前后方	地表变形和周围环境	$L \leq 1B$	(1 次~2 次) /1d
		$1B < L \leq 2B$	1 次/1d
		$2B < L \leq 5B$	1 次/2d
		$L > 5B$	1 次/ (3d~7d)

注：1 B 为矿山法隧道或导洞开挖宽度（m）， L 为开挖面至监测点或监测断面的水平距离（m）；

2 当拆除临时支撑时应增大监测频率；

3 浅埋隧道应增大监测频率，浅埋隧道按其相应的行业判别标准执行；

4 监测数据趋于稳定后，监测频率宜为 1 次/（15d~30d）。

8.3.8 地下水位观测孔和监测频率应根据水文地质条件复杂程度、地下水对工程的影响程度以及地下水控制要求确定，应符合本规范第 4 章的规定。

8.3.9 顶管工程、水平定向钻穿越工程应对其穿越影响范围内地表位移、地表裂缝、地下水位等进行监测，监测频率和监测预警值应由设计单位确定。

8.3.10 顶管工程、水平定向钻穿越工程应对在地表沉降影响范围内的地面建（构）筑或地下管线进行监测，应根据建（构）筑或地下管线允许沉降范围确定监测控制值。

8.3.11 暗挖法穿越机场的施工影响监测宜采用远程自动化实时监测方法。

8.4 降水施工影响监测

8.4.1 下列建（构）筑物及设施处于降水施工影响范围时，应进行施工影响监测：

- 1 跑道、滑行道、机坪；
- 2 下穿通道和地下管线；

- 3 导航台站、灯光站、塔台及其他建筑物；
- 4 PAPI 灯、进近灯等助航灯光设施；
- 5 边坡、支挡结构等。

8.4.2 降水施工影响监测项目宜包括监测对象的沉降、位移、既有裂缝等。

8.4.3 监测点布置范围应覆盖降水影响范围，监测点位置应能反映监测对象的变形特征和安全状态，并应符合下列规定：

1 建筑物倾斜监测点宜在主体结构顶部和底部，上下对应布设，上、下监测点应布置在同一垂直线上。

2 建筑物沉降监测点宜布置在建筑物外墙上及外墙转角处，监测点对称布置，每侧外墙监测点至少 1 个。

3 既有裂缝监测点宜布置在有代表性的位置，当原有裂缝增大或出现新裂缝时，应及时增设监测点，每条裂缝的监测点不应少于 2 个且宜布置在裂缝的最宽处和裂缝末端。

4 地下管线位移和沉降监测点宜布置在管线的节点、转角点和变形曲率较大的部位，平面间距宜为 10m~15m。

8.4.4 降水施工影响监测的开始、终止时间应根据设计要求和施工情况确定，并应覆盖降水施工全过程；地下水控制水位未达到设计要求前，每天监测 1 次，达到设计降深后可每 2d~5d 监测 1 次；在地下水控制工程结束后 15d 内，应继续监测至少 3 次。

9 监测方法

9.1 一般规定

9.1.1 监测项目宜包括变形与裂缝监测、振动监测、地下水土监测、应力应变监测等。

9.1.2 监测方法可包括仪器监测、人工巡视监测及自动化监测等，人工巡视监测方法可辅以锤、钎、尺等器具进行。

9.1.3 监测过程中应对监测仪器和传感器进行保护，并对仪器的运行状态、稳定性、损坏情况等进行分析，对于需频繁更换的传感器应提出寿命要求，并应保证其易于更换。

9.1.4 监测设备应根据设计要求和项目特点选择，并应符合下列要求：

1 监测所用仪器设备应检定合格，仪器设备的检定、校准及维护，应符合国家现行有关标准的规定。

2 监测元器件应具有足够强度、稳定性和耐久性，满足监测期间的正常使用要求，运营期使用的元器件应满足飞行区对易折性和电磁环境的要求。

3 监测设备在监测期如有损坏，具备条件的应及时修复或更换，采用预埋式的监测设备应在埋设时考虑一定的冗余。

【条文说明】监测设备选型需考虑监测对象、监测持续时长以及周边环境等因素。预埋式的监测设备在监测期间一般难以更换，埋设时需考虑一定的冗余，以满足后续数据分析所需的数据量。

易折物体指在规定的冲击力下即折断（破碎）、扭曲或弯曲的轻质量物体，以使其对航空器的危害最小。对固定障碍物穿透有要求的无障碍区、升降带、跑道端安全区、净空道、滑行带、精密进近灯光系统灯具光心面以上等区域，监测设备应满足易折要求，且安装高度尽可能低。关于易折性的规定可参考咨询通告《易折易碎杆塔通用技术要求及检测规范》（AC-137-CA-2014-01）。

根据《运输机场运行安全管理规定》（CCAR-140），“在机场飞行区电磁环境保护区内设置工业、科技、医疗设施，修建电气化铁路、高压输电线路等设施不得干扰机场飞行区电磁环境”，当监测设备采用无线传输技术时，也应考虑其对机场电磁环境的影响。

9.1.5 监测基准点不应少于 3 个，应设在稳定区域内，并定期复测。

9.1.6 运营期宜采用自动化监测技术进行数据采集、数据传输、数据解析、报告发布及数据异常情况下的预警等，建设期应尽量采用自动化监测技术。当采用无线传输技术时，应符合机场无线电管理相关规定。

9.2 变形与裂缝监测

9.2.1 原地基沉降、地基表面沉降、边坡坡面竖向位移和水平位移、支挡结构竖向位移和水平位移宜采用全站仪和水准仪量测。三角高程测量中，全站仪的一测回水平方向标准差应不大于 $1.0''$ ，测距中误差应不超过 $(1\text{mm}+1\text{ppm})$ ，水准仪精度应符合《工程测量标准》（GB 50026）的规定。

9.2.2 水准仪观测中，水准点的埋设应符合下列要求：

1 点位应选在稳固地段或稳定的建筑物上，并应方便寻找、保存和引测；采用数字水准仪作业时，水准路线还应避开电磁场的干扰。

2 宜采用水准标石，也可采用墙水准点；标志及标石的埋设应符合《工程测量标准》（GB 50026）的规定。

3 埋设完成后，二、三等点应绘制点之记，四等及以下控制点可根据工程需要确定，必要时还应设置指示桩。

9.2.3 全站仪测量时，测量水平位移的标称精度应符合《工程测量标准》（GB 50026）的规定，主要技术应符合下列要求：

1 测站应设立在基准点或工作基点上，并应采用有强制对中装置的观测台或观测墩；测站视野应开阔无遮挡，周围应设立安全警示标志；应同时具有防水、防尘设施。

2 监测体上的变形观测点宜采用观测棱镜，也可采用反射片。

3 数据通信宜采用光缆、专用数据电缆通信，也可采用无线网络通信。

4 作业前，应将自动观测成果与人工测量成果进行比对，应在自动观测成果满足要求后，再进行自动监测。

5 测站和数据终端设备应备有不间断电源。

9.2.4 道面内部应变宜采用应变计量测，应变计量程宜为设计最大压力的 1.2 倍，精度应满足工程监控的要求，宜大于 $0.5\% \text{ F}\cdot\text{S}$ 。

【条文说明】 $\text{F}\cdot\text{S}$ 是 Full Scale 的缩写，意为“满量程”，是量程范围最大值和最小值的差值。

9.2.5 应变计的埋设应符合下列要求：

1 传感器的强度应满足使用环境的要求，应具有抗腐蚀性、耐久性、抗震和抗冲击性能；连接电缆应采用耐酸碱、防水、绝缘的专用电缆；

2 传感器埋设前，应进行密封性检验、力学性能检验和温度性能检验，应在满足要求后使用；

3 传感器埋设的回填土应夯实，承压面应与受力方向垂直；连接电缆应进行编号；

4 传感器埋设达到初始状态后，应测定静态初始值。

9.2.6 分层沉降可通过埋设磁环式分层沉降标进行量测，或通过埋设深层沉降标、多点位移计，采用水准测量方法进行量测。采用分层沉降仪量测时，每次测量应重复 2 次并取其平均值作为测

量结果，2次读数较差不应大于1.5mm，沉降仪的系统精度不宜低于1.5mm。采用水准测量时，监测精度宜按表9.2.6确定，水准点的埋设应符合本规范第9.2.2条的要求。

表 9.2.6 竖向位移监测精度要求

竖向位移预警值	累计值 $S(\text{mm})$	$S \leq 20$	$20 < S \leq 40$	$40 < S \leq 60$	$S > 60$
	变化速率 $v_s(\text{mm/d})$	$v_s \leq 2$	$2 < v_s \leq 4$	$4 < v_s \leq 6$	$v_s > 6$
监测点测站高差中误差(mm)		≤ 0.15	≤ 0.5	≤ 1.0	≤ 1.5

注：监测点测站高差中误差系指相应精度与视距的几何水准测量单程一测站的高差中误差。

9.2.7 沉降标的埋设应符合下列要求：

1 沉降管埋设时应先钻孔，再放入沉降管，沉降管和孔壁之间宜采用黏土水泥浆而不宜用砂进行回填。

2 磁环式分层沉降标、深层沉降标、多点位移计可采用钻孔埋设，埋设后应保证稳定时间不少于1周，然后测量初始值。采用磁环式分层沉降标时，应保证沉降管安置到位后与土层密贴牢固。

9.2.8 深层水平位移宜采用测斜仪量测。测斜仪的系统精度不宜低于0.25mm/m，分辨率不宜低于0.02mm/500mm。

9.2.9 测斜仪埋设可采用绑扎法、钻孔法以及抱箍法等方法，埋设时应符合下列要求：

1 埋设前应检查测斜管质量，测斜管连接时应保证上、下管段的导槽相互对准、顺畅，各段接头及管底应保证密封，测斜管管口、管底应采取保护措施。

2 测斜管埋设时应保持竖直，防止发生上浮、断裂、扭转，测斜管一对导槽的方向应与所需测量的位移方向保持一致。

3 当采用钻孔法埋设时，测斜管与钻孔之间的空隙应填充密实。

4 正式测量前宜采用探头模型检查测斜管导槽顺畅状态。

9.2.10 地基表面沉降、边坡坡面竖向位移、支挡竖向位移还可采用合成孔径雷达干涉测量、北斗监测系统、光纤式沉降计、光纤角速度线形监测系统等方法量测，并符合下列要求：

1 合成孔径雷达干涉测量的监测精度不应低于5mm，监测时应以雷达波束中心线为参考设计雷达测量视角，并应将主要监测目标置于雷达波束最优辐射区域内，目标主变形方向和雷达视线夹角不宜超过60°；

2 北斗技术的监测精度不应低于2mm，接收器应安装在监测点，与计算机连接，并启动相应监测软件测量；

3 光纤式沉降计测量精度不应低于0.1mm，并固定在监测点上；

4 光纤角速度线形监测系统的漂移精度不应低于0.01°/h，并在测量区域内安装光纤陀螺仪和光纤传感器等设备采集监测数据。

9.2.11 桥梁动挠度、纵向、横向位移宜采用全站仪量测，水平范围内的精度不应低于(1.5mm+2ppm)，垂直范围内的精度不应低于±(3mm+2ppm)。全站仪的使用应符合本规范第

9.2.3 条的规定。

9.2.12 桥梁竖向位移宜采用安装振弦式传感器量测，振弦式传感器的上限应满足被测振幅的要求，量程在 X、Y、Z 三个方向上不宜低于 25MPa，频率范围宜在 1400Hz~2200Hz 之间，精度不应低于 1%F.S。振弦式传感器在安装后应保持水平和稳定。

9.2.13 桥梁支座位移宜采用位移传感器量测，位移传感器的量程应大于被测桥梁的预估支座位移，其精度不宜低于 0.5 μ m。

9.2.14 位移传感器在使用时应符合下列要求：

- 1 在安装位移传感器时，需要保持传感器水平和稳定，采样频率宜为 1 天 1 次。
- 2 位移传感器在安装时需保证传感器与结构物之间的接触面积，并应采用足够数量的传感器覆盖整个结构物。
- 3 数据处理应采用合适的时间域或频域分析方法，并对数据进行去噪、滤波等处理。

9.2.15 桥梁墩台沉降宜采用沉降标记法进行测量，并应符合下列规定：

- 1 沉降标记可采用金属或钢筋制作，并应刻有标记编号和固定孔。
- 2 沉降标记在两侧的布置位置应相同，桥台处应布置至少 2 个测点，盖梁顶部应布置至少 1 个测点。

9.2.16 下穿通道的净空收敛宜采用钢尺收敛计并配合监测点量测，钢尺收敛计的精度不应低于 0.01mm。

9.2.17 下穿通道的净空收敛量测应符合下列规定：

- 1 应在隧道开挖、初次衬砌完成后的 24h 内，对开挖处进行监测点布设；
- 2 净空收敛量断面应布设在距离开挖面 2m 的范围，并且每断面根据围岩情况布设 2~3 对测点；
- 3 应保证开挖后 24h 内或下一次开挖之前对每对测点进行初次测量得到初读数。

9.2.18 建（构）筑物裂缝可采用千分尺、游标卡尺、裂缝显微镜、裂缝计等常规裂缝监测技术，裂缝宽度监测精度应不低于 0.1 mm，裂缝长度和深度监测精度不应低于 1 mm，且应符合下列要求：

- 1 裂缝宽度监测宜在裂缝两侧贴埋标志；
- 2 裂缝深度监测宜采用超声波、凿出法等。

9.2.19 裂缝还可采用计算机视觉裂缝识别等自动化、智能化监测技术进行监测，裂缝图片像素应不低于 1080P，裂缝成像角度应平行于监测结构表面，监测精度可参考第 9.2.18 条的规定。

9.2.20 温度可通过温度计、表面贴片式应变计、埋入式应变式温度计、光纤光栅温度计等监测，量程应满足 -50 $^{\circ}$ C~120 $^{\circ}$ C 范围，混凝土、钢结构温度监测精度应不低于 0.01 $^{\circ}$ C，且应符合下列要求：

- 1 环境温度监测宜采用温度计监测，温度计可安设在高约 1.5m 左右的百叶箱中。
- 2 混凝土、钢结构温度宜采用表面贴片式应变计监测，可通过胶水将应变计贴于监测结构表

面。

3 结构表面温度可采用红外热成像技术，监测精度应不低于 0.1°C 。

9.3 振动监测

9.3.1 道面、建筑与桥梁结构的振动宜采用力平衡加速度传感器、电动速度摆加速度传感器、电阻应变计、光纤类应变计等进行测量。加速度传感器量程应大于计算分析振动响应最大值的 1.2 倍，且不宜小于 $\pm 1\text{g}$ ，横向灵敏度应小于等于 5%，频响范围宜为 $0\text{Hz}\sim 100\text{Hz}$ ；应变传感器量程应大于等于 $1000\mu\epsilon$ ，且静应变传感器量程应大于等于被测量预计变化范围的 1.2 倍，动应变传感器量程应大于等于预测被测量变化范围的 2 倍，分辨力应小于 $1\mu\epsilon$ 。

9.3.2 振动监测的传感器布设应符合下列要求：

- 1 在工程结构振幅最大处取监测点，一般位于表面平整位置。
- 2 当进行动力特性分析时，传感器宜布置在需识别的振型关键点上，且宜覆盖结构整体，也可根据需求对结构局部增加测点。
- 3 在传感器布设位置使用角磨机进行表面打磨，使表面呈现青灰色。
- 4 在打磨结束后使用毛刷进行表面碎屑的清扫，为传感器的长期检测打好基础。
- 5 清扫结束后在测点抹胶，并粘贴传感器，在胶凝过程中不可遇水。

9.3.3 道面的振动监测可采用光栅阵列振动传感缆、FBG（光纤布拉格光栅）加速度传感器等进行监测。光栅阵列振动传感缆宜覆盖每块道面板，FBG（光纤布拉格光栅）加速度传感器应在跑道关键位置布设。

【条文说明】平衡加速度传感器适用于复杂环境下的长期高精度测量；电动速度摆加速度传感器适用于环境噪声和外部干扰的影响下进行高灵敏度和高精度的测量；电阻应变计适用于复杂温度和湿度条件下的高灵敏度静态和动态应变测量；光纤类应变计适用于较强电磁干扰的工业环境中进行远距离传输高精度应变测量结果；FBG（光纤布拉格光栅）加速度传感器进行监测适用于对精确和敏感振动要求较高的情况，其在不同频率范围内的振动具有较高的抗干扰能力。

9.3.4 道面、桥梁疲劳监测宜采用疲劳寿命计量测，疲劳寿命计分辨率应高于 0.001Ω ，重复精度应达到 8%。

9.3.5 疲劳寿命计监测结构疲劳应符合下列要求：

- 1 疲劳监测的测试部位应设置在应力变化幅度较大的位置。
- 2 交变应力值较小时，应采用应变倍增器放大交变应力值，使应力大小处于疲劳寿命计的最佳感应范围。
- 3 应采用温度补偿块对疲劳寿命计进行温度补偿。
- 4 应在同一个应变倍增器上粘贴两个感受不同应变放大倍数的疲劳寿命计，推测测点在某段

时间的荷载谱。

9.3.6 施工振动较大或影响对象敏感时，可选用地震仪器进行监测。

【条文说明】地震仪使用前在安装地点确定准确的南北方向，将仪器底盘上标识“N”的竖刻线对准正北方向，将仪器底盘上标识“S”的竖刻线对准正南方向。调节水平至水平气泡居中，连接卫星定位导航天线和网络电源线，接通电源连接电脑。地震仪的动态范围为 144dB，通频带带宽为 0.1~4000Hz，幅度一致性优于 2±%，相位一致性优于 0.01%。

9.3.7 地震仪使用时的布设应符合下列要求：

- 1 选择稳定、平整的地面或建筑物表面作为地震仪的放置位置。
- 2 使用三脚架、墙壁支撑物、混凝土基座等固定地震仪的位置。
- 3 将地震仪放置在支架或固定装置上，并确保其处于水平状态。

9.4 地下水土监测

9.4.1 地下水土监测宜包括孔隙水压力、水位、流量、流速、浑浊度、土压力、道面及地基温度、土体含水率监测。

9.4.2 孔隙水压力宜通过埋设钢弦式或应变式等孔隙水压力计测试，孔隙水压力计量程应满足被测压力范围的要求，可取静水压力与超孔隙水压力之和的 2 倍，精度不宜低于 0.5 %F·S，分辨率不宜低于 0.2 %F·S。

9.4.3 孔隙水压力计埋设可采用钻孔法、压入法等。孔隙水压力计应提前埋设，埋设前应浸泡饱和，排除透水石中的气泡。

9.4.4 钻孔法埋设孔隙水压力计应符合下列要求：

- 1 钻孔直径宜为 110mm~130mm，不宜使用泥浆护壁成孔，应采用清水对钻孔进行清洗，钻孔应圆直、干净，孔内应无沉渣和泥浆。
- 2 封口材料宜采用直径 10mm~20mm 的干燥膨润土球。
- 3 在填土层或浅层松散不稳定的土层中，应下套管护孔，套管应保证垂直。
- 4 孔隙水压力计埋设后应测量初始值，且宜逐日量测 1 周以上并取得稳定初始值。
- 5 应在孔隙水压力监测的同时测量孔隙水压力计埋设位置附近的地下水位。
- 6 当一孔内埋设多个孔隙水压力计时，其间隔不应小于 1m，并采取措施确保各个元件间的封闭隔离。

9.4.5 压入法埋设孔隙水压力计应符合下列要求：

- 1 宜在无硬壳层的软弱土层中使用外力将孔隙水压力计缓缓压入土中至设计埋设标高。
- 2 如土质稍硬则可用钻孔法钻入到软弱土层再采用压入的方法埋设。

9.4.6 地下水位监测宜采用钻孔内设置水位管或观测井，通过水位计进行量测，水位计精度不宜

低于 10 mm。

9.4.7 水位管的布置应符合下列要求：

1 水位管应在开挖前埋设完成，采用钻孔埋设的方式布设。

2 水位管位于含水层的管段应预制成花管状（打孔），外缠滤布，管底端封闭。为避免滤布堵塞，钻孔施工宜采用清水钻进，成孔后将水位管送入孔中预定位置。

3 潜水水位管直径不宜小于 50mm，饱和软弱土等渗透性小的土层水位管直径不宜小于 70mm，滤管长度应满足量测要求，与钻孔孔壁间应灌砾砂或石米填实，水位管管口应加盖保护。被测含水层与其他含水层间应采取有效的隔水措施，含水层以上部分应用膨润土球或注浆封孔。

4 水位管管底的埋置深度应在最低水位或超过最低允许地下水位 3m~5m。

9.4.8 地下水水流量、流向、流速、浑浊度等监测应按照《地下水环境监测技术规范》（HJ 164）的规定执行。

9.4.9 土压力宜采用土压力计量测，土压力计的量程应满足被测压力的要求，其上限宜为设计压力的 2 倍，精度不应低于 0.5 % F·S，分辨率不应低于 0.2 % F·S。

9.4.10 土压力计埋设可采用边界式或埋入式。埋设前应对土压力计进行稳定性、密封性检验和压力、温度标定。埋设时应符合下列要求：

1 受力面与所监测的压力方向垂直并紧贴被监测对象。

2 埋设过程中应有土压力膜保护措施。

3 钻孔法埋设时，回填应均匀密实，且回填材料宜与周围岩土体一致。

4 土压力计导线中间不宜有接头，导线应按一定线路捆扎，接头应集中引入导线箱中。

5 应做好完整的埋设记录。

6 土压力计埋设后应立即进行检查测试。

9.4.11 边界式土压力计的安装可采用挂布法，埋设应符合下列要求：

1 挂布应结实，布帘宽度可取 1/3 ~ 1/2 槽段宽度（支护桩周长）。

2 布帘上布袋缝制位置应对应埋设的设计深度，布袋应缝制在布帘宽度方向的中间，土压力计放入后应封口固定。

3 布帘应平铺固定在钢筋笼的近土面一侧外表面上，土压力计受力面应面向钢筋笼外侧，钢筋笼吊装安放时应检查方向正确无误。

4 土压力计测试导线应固定在钢筋主筋上，应注意导线长度较埋设深度有一定富余。在土压力盒安装部位，应预留导线 20 cm。

5 水下混凝土浇筑过程中应进行土压力读数监测，确定土压力计安装是否成功。

9.4.12 埋入式土压力计的安装可采用钻孔法，埋设应符合下列要求：

1 钻孔深度应比设计深度深 0.5m ~ 1.0 m。

2 钻孔不宜采用泥浆护壁成孔，钻孔应圆直、干净，孔内应无沉渣和泥浆。

3 在填土层或浅层松散不稳定的土层中，应下套管护孔，套管应保证垂直。

4 土压力计应固定在安装架内。

5 安装架放入钻孔内后应逐段连接安装架压杆，然后通过压杆将土压力计压到设计标高。

6 土压力计导线通过压杆引到地面时应注意导线长度较埋设深度有一定富余。

9.4.13 温度可通过温度计、表面贴片式应变计、埋入式应变式温度计、光纤光栅温度计、红外线热成像技术等监测，量程应满足 $-50^{\circ}\text{C}\sim 120^{\circ}\text{C}$ 范围，且温度传感器的选择和精度应符合下列要求：

1 大片混凝土结构表面温度可采用红外热成像技术，监测精度应不低于 0.1°C 。

2 混凝土、钢结构温度宜采用表面贴片式应变计监测，监测精度应不低于 0.01°C 。

3 环境温度监测宜采用温度计监测，温度计可安设在高约 1.5m 左右的百叶箱中，监测精度不应低于 0.1°C 。

4 季节冻土区地基土的温度宜采用应变式温度计或光纤光栅温度计，通过对地基预钻孔，将传感器绑扎于钢丝绳或钢筋上埋设于土中对应位置进行监测，监测精度不应低于 0.1°C 。

9.4.14 含水率监测可使用光纤光栅湿度计、基于时域或频域反射法的水分计等，监测精度应不低于 0.1% 。

9.4.15 温度和含水率监测传感器埋设应符合下列要求：

1 埋设采用预钻孔的方法，成孔后不应有塌孔、缩径现象。

2 传感器应分层埋设在对应地基深度，埋设深度误差控制在 0.01m 范围内。

3 回填土应分层回填，控制每层回填土质量，保证压实度与周围土体一致。

【条文说明】地基含水率监测传感器一般同时可监测地基对应位置温度，对地基含水率和温度同时有监测需求时，宜选用水分计对温度进行共同监测。

9.5 应力应变监测

9.5.1 应力应变监测应包括飞行区建（构）筑物结构应力和应变、边坡支挡结构应力和应变、边坡及基坑支护结构轴力等。

9.5.2 应力监测可采用混凝土应力计、钢筋应力计、轴力计、光纤光栅应力计等进行监测。应变监测可采用电阻应变计、振弦式应变计、光纤类应变计等进行监测。应力计或应变计的量程不宜小于设计值的 1.5 倍，精度不宜低于 $0.5\%F\cdot S$ ，分辨率不宜低于 $0.2\%F\cdot S$ ，应根据监测对象的结构形式、施工方法选择相应类型的应力应变传感器。

9.5.3 应变计、应力计、轴力计等传感器的安装埋设应符合下列要求：

1 传感器宜在支撑或支护结构制作时预埋，并进行编号。

2 对于道面结构应力和应变监测，传感器应在跑道建设期预先绑扎在钢筋上，再现浇埋入。

3 对于混凝土支撑轴力，监测传感器安装时，应保证传感器与支撑受力方向在同一轴线上。每个截面上下左右表面中间各布设 1 个应变计或应力计；钢支撑轴力监测传感器应采用在固定端

安装轴力计或在支撑表面对称安装表面应变计。

4 钢筋应力计宜采用螺纹连接。当采用对焊、坡口焊或熔槽焊等焊接时，应避免高温损坏应力计，对于直径大于 28mm 的钢筋，不宜采用对焊焊接。

9.5.4 锚杆（索）拉力宜采用轴力计、钢筋应力计或应变计进行监测，当使用钢筋束时宜监测每根钢筋的受力。轴力计、钢筋应力计、应变计等传感器的安装应符合下列要求：

1 传感器安装前应读取基准值。

2 安装表面应垂直锚杆（索）轴线，传感器受力方向应与锚杆（索）轴线重合。

3 传感器应安装在工作锚和垫板之间。

4 传感器的引出电缆均应可靠接地，并应编号。条件许可时，相邻多个监测元件可接入同一集线箱，联接到自动化系统进行测试。

10 监测成果与应用

10.1 监测数据整理与分析

10.1.1 监测外业完成后，应及时对原始记录进行检查。检查的工作应包括下列内容：

- 1 作业方法是否符合规定；
- 2 监测记录是否正确、完整、清晰；
- 3 各项检验结果是否在限差以内；
- 4 是否存在系统误差。

10.1.2 原始记录经检查后，发现下列情况时，应及时处理。

- 1 若判定监测数据不在限差以内或异常，应立即重测；
- 2 若判定监测数据含有较大的系统误差时，应分析原因，并设法减少或消除其影响；
- 3 如有漏测，应及时补（复）测，并记录有关情况。

10.1.3 原始数据检查无误后，将其换算成所需的监测物理量，绘制监测物理量-时间曲线图、分布图等图件，检查和判断监测值的变化趋势。

10.1.4 对地下水动态的长期监测资料应进行系统整理，绘制地下水等水位线图、地下水位动态变化图、地下水流量动态变化图、孔隙水压力动态变化图等，定期编制地下水动态监测报告。

10.1.5 地基沉降变形可采用曲线回归法进行预测分析。曲线回归方法应根据地基条件和填料类别选择，可采用双曲线法、三点法、浅冈法、指数法、对数法等。

10.1.6 道面结构层的施工时间应根据飞行区道面影响区地基沉降监测数据分析确定，应以预测的工后沉降和工后差异沉降作为主要判定指标，监测的沉降速率可作为参考指标。

【条文说明】建设期道面影响区地基沉降稳定判定标准，一直是民航机场建设领域备受关注的技术难题之一。地基沉降观测是十分必要的，尤其是对高填方工程和软土地基建设工程，可以通过沉降观测掌握地基沉降规律，确定合理的道面施工时机，有效避免因地基沉降造成的道面结构破坏和地基沉降过大给机场安全运行带来的不利影响。地基处理或土石方设计文件中通常会根据《民用机场岩土工程设计规范》（MH/T5027）的规定，明确设计使用年限内的道面影响区工后沉降和差异沉降的控制标准。实际工程建设过程中，根据观测数据推测工后沉降需要的数据量较大，沉降观测持续时间较长，实践中也有项目试图提出以沉降速率为控制指标的沉降稳定判定标准。说明表 10.1.6 统计分析了全国多个软土、高填方等沉降问题较为突出的大型机场地基沉降观测数据。

说明表 10.1.6 地基沉降观测情况典型案例统计表

机场名称	典型工况	沉降稳定控制指标	监测时长	预测沉降量	沉降速率	备注
GY 机场	原地基红黏土厚度小于 5m, 采用换填或强夯处理; 填料为强~中风化岩块, 填方厚度小于 20m, 采用强夯或冲击碾压分层填筑	跑道和滑行道在设计使用年限 30 年内的工后沉降分别不大于 0.2m 和 0.3m、工后差异沉降分别不大于 1.0‰和 1.5‰	约 6 个月	3cm~10cm	0.03mm/d~0.2mm/d	
	原地基红黏土厚度 5m~10m, 采用 CFG+碎石桩组合型复合地基处理; 填料为强~中风化岩块, 填方厚度小于 20m, 采用强夯或冲击碾压分层填筑		约 6~12 个月	10cm~15cm	0.05mm/d~0.23mm/d	
	原地基红黏土厚度 10m~18m, 采用 CFG+碎石桩组合型复合地基处理; 填料为强~中风化岩块, 填方厚度大于 20m, 采用强夯或冲击碾压分层填筑		大于 12 个月	15cm~23cm	0.07mm/d~0.29mm/d	
XM 机场	原地基淤泥等软弱土厚度小于 8m 时, 采用插打排水板+堆载预压处理; 填筑体为吹填海砂, 厚度 8~12m, 采用强夯或振冲	道面影响区在设计使用年限 30 年内的工后沉降不大于 0.25m、工后差异沉降不大于 1.5‰	大于 12 个月	8cm~21cm	连续一个星期不大于 0.5mm/d	以沉降速率为卸载控制标准
	原地基淤泥等软弱土厚度 8m~20m, 采用插打排水板+堆载预压处理; 填筑体为吹填海砂, 厚度 8~12m, 采用强夯或振冲		大于 18 个月	10cm~22.5cm		
CD 机场	沟谷软弱土分布宽度 70m~150m, 原地基土层为可塑粉质黏土 1.7m、软塑黏土 6.1m, 采用碎石桩+排水板堆载预压处理, 堆载高度 5m~7m。	连续两个月沉降速率 \leq 0.22mm/d	19 个月	\leq 6.4cm	连续两个月沉降速率 \leq 0.22mm/d	以沉降速率为卸载控制标准
	沟谷软弱土分布宽度 90m~120m, 原地基土层为素填土 2.1m、软塑黏土 6.0m、可塑黏土 1.1m, 采用碎石桩+排水板堆载预压处理, 堆载高度 4m	连续两个月沉降速率 \leq 0.15mm/d	20 个月	\leq 4.1cm	连续两个月沉降速率 \leq 0.15mm/d	
	沟谷软弱土分布宽度 70m~110m, 原地基土层为软塑粉质黏土 6.5m、可塑粉质黏土 2.1m, 采用碎石桩+排水板堆载预压处理, 堆载高度 4m	连续两个月沉降速率 \leq 0.25mm/d	20 个月	\leq 5.3cm	连续两个月沉降速率 \leq 0.25mm/d	
	沟谷软弱土分布宽度 60m~70m, 原地基土层为软塑黏土 7.8m、可塑黏土 3.1m, 采用碎石桩+排水板堆载预压处理, 堆载高度 4m	连续两个月沉降速率 \leq 0.11mm/d	16 个月	\leq 4.8cm	连续两个月沉降速率 \leq 0.11mm/d	
KM 机场	软塑~可塑的红黏土、黏性土, 采用碎石桩处理	工后 20 年沉降变形不大于 25cm, 工后差异沉降不大于 1.8‰; 非超载预压区连续 2 个月的沉降速率不大于 0.17mm/d, 超载预压区的沉降速率不大于 0.3mm/d	>18 个月	\leq 19.6cm	0.18mm/d~0.33mm/d	非超载预压区连续 2 个月沉降速率 \leq 0.17mm/d, 超载预压区沉降速率 \leq 0.3mm/d。
	可塑~硬塑的红黏土、黏性土, 按不同的土层厚度 H , 采用不同能级垫层强夯处理: $H>8m$, 4000kN·m 垫层强夯; $5m<H\leq 8m$, 3000kN·m 垫层强夯; $H\leq 5m$, 2000kN·m 垫层强夯		>18 个月	\leq 5.1cm	0.01mm/d	
PD 机场	由粘性土、粉性土和砂土组成, 采用插排水板+超载预压处理, 超载 50%	超载预压, 连续 5 天小于	10~12 个月	10cm~29cm	0.18mm/d~0.33mm/d	以沉降速

机场名称	典型工况	沉降稳定控制指标	监测时长	预测沉降量	沉降速率	备注
		0.6mm/d				率为堆载卸载控制标准
	由陆域区和水域区组成，由粘性土、粉性土和砂土组成，其中水域区表层淤泥围海促淤形成，厚度1.2m~5.5m。采用插排水板+超载预压处理，超载30%	超载预压，连续5天小于0.6mm/d~1mm/d	22~23个月		0.01mm/d	

根据上表，道面影响区地基沉降规律受地质条件、填筑厚度、填料性质、填筑工艺、地基处理方法等众多因素的影响，沉降是否满足要求主要以道面设计使用年限内沉降不影响道面运行为依据，所以条文提出以预测的工后沉降和工后差异沉降作为主要判定指标。实际工程中也有采用沉降速率作为沉降稳定判定标准的案例，但不同项目、不同工况，甚至同一机场不同区域的沉降速率判定标准迥异，仅以监测的沉降速率来判定沉降是否稳定是不严谨的，沉降速率不宜作为唯一判定指标。

10.1.7 边坡监测数据整理应符合下列要求：

1 整理后的数据应满足数据分析的需要，绘制变形-时间曲线，裂缝、隆起以及变形位移空间分布图，深层水平位移-深度曲线图，以及各监测数据的累计变化值、变化速率值等。

2 边坡监测数据分析应采用监测值与监测预警值或监测控制值相比较，分析边坡变形趋势，对边坡稳定性作出判断。

10.1.8 道面监测资料应进行系统整理，绘制道面变形、位移、温度和加速度等动态变化图，计算监测数据累计变化值、变化速率值、相关性分析，定期编制道面监测报告。

10.1.9 飞行区服务车道桥梁监测数据应解析为监测项目对应的物理量。

10.1.10 飞行区服务车道桥梁监测数据分析可采用时域分析、频域分析、时间序列特征分析等方法，多梁式桥梁应进行协同工作性能分析，整体式桥梁应进行偏载系数分析。监测数据分析内容宜符合表 10.1.10 的规定。

表 10.1.10 飞行区服务车道桥梁监测数据分析内容

监测类别		监测项目	分析内容
环境	温度	环境温度	平均温度、最高温度、最低温度
		构件温度	平均温度、最高温度、最低温度、断面最大温度梯度
	湿度	环境湿度	平均值、最大值和超限持续时间
作用	车辆荷载	车流量、行驶速度	车流量、年极值、图像识别
	地震	桥墩底部加速度	绝对最大值、峰值、均方根值、频谱
结构响应	位移/变形	主梁关键截面挠度	峰值、冲击系数、长期变形趋势
		梁端纵向、横向位移	绝对最大值、累计值、位移方向
		支座位移	绝对最大值、累计值、位移方向
	动力特性		加速度、自振频率、振型、阻尼比
	应变	主梁关键截面应变	峰值、冲击系数、长期变化趋势

监测类别		监测项目	分析内容
	裂缝	结构裂缝	平均值、最大值、长期变化趋势
	支座	反力	平均值、最大值、最小值、最大变化量
结构 变化	腐蚀介质	氯离子含量	腐蚀速率、氯离子浓度
		墩身、承台混凝土侵蚀深度	腐蚀速率、深度、程度
	墩台沉降	墩台竖向位移	平均值、最大值、趋势值、变化率

10.1.11 振动影响监测的监测数据整理与分析应符合下列要求：

1 如实记录监测数据，输入专用分析软件进行处理，分别读出监测量的峰值、对应的时间等，并进行频谱分析，计算主振频率。

2 根据原始波形的特征，分析判定记录波形中可能出现的异常值，找出原因并进行处理。

【条文说明】试验的原始记录数据是参量的时间历程(位移、速度或加速度等量值同时间的关系)，通过直观分析可将数据分为瞬态的、周期的、随机或非随机持续非周期的三种，进而在时域(包括时差域，即自变量为两信号的时间差)、频域和幅值域中进行统计分析、相关分析和谱分析，从而得到表征时间历程特征的各种函数。

10.1.12 暗挖施工影响监测的监测数据整理与分析应提供下列成果：

1 影响区地面变形分布图及与暗挖工程的位置关系、地面变形的时程曲线；

2 地下水位时程曲线。

10.1.13 降水施工影响监测的监测数据整理与分析应包括沉降时程曲线、临近建筑物的倾斜、裂缝开展的时程曲线。

10.2 监测预警

10.2.1 下列情况应进行监测预警：

- 1 边坡、基坑、暗挖工程的地下水监测；
- 2 边坡支挡结构；
- 3 飞行区服务车道桥梁；
- 4 其他对工程安全存在不利影响的。

10.2.2 边坡工程、基坑工程及暗挖工程的设计单位应明确地下水位的监测控制值和监测预警值。

10.2.3 边坡支挡结构应根据结构形式、地质条件、设计计算结果及当地工程经验，确定监测预警值和监测控制值。无当地工程经验时，可按表 10.4.3-1 和表 10.4.3-2 确定。

表 10.4.3-1 边坡支挡结构监测预警值

监测项目	累计值	变化速率
支挡结构顶部的水平位移	4% H 且不大于 40mm	4mm/d
桩顶的竖向位移	4% H 且不大于 40mm	4mm/d
重力式挡土墙墙趾部位的水平位移	40mm	4mm/d
重力式、扶壁式挡土墙的竖向位移	根据沉降计算确定	根据沉降计算确定
支挡结构深层水平位移	40mm	4mm/d
预应力锚杆轴力	最大值: 80% f_N 最小值: 70% f_y	—

注: 1 H 为支挡结构自坡脚地面起算的高度;

2 f_N 为锚杆轴向拉力设计值, 即相应于作用的标准组合时锚杆所受轴向拉力;

3 f_y 为锚杆预应力设计值, 即锚杆轴向拉力标准值与钢筋(钢绞线)抗拉安全系数的乘积。

表 10.4.3-2 边坡支挡结构监测控制值

监测项目	累计值	变化速率
支挡结构顶部的水平位移	5% H 且不大于 50mm	5mm/d
桩顶的竖向位移	5% H 且不大于 50mm	5mm/d
重力式挡土墙墙趾部位的水平位移	50mm	5mm/d
重力式、扶壁式挡土墙的竖向位移	根据沉降计算确定	根据沉降计算确定
支挡结构深层水平位移	50mm	5mm/d
预应力锚杆轴力	最大值: f_N 最小值: 50% f_y	—

【条文说明】边坡支挡结构监测控制值是不能突破的限制, 当监测结果达到控制值时, 必须立即采取有效措施避免险情发生。边坡支挡结构主要监测位移和锚杆轴力, 水平位移的控制值主要参照《混凝土结构设计规范》GB50010中混凝土构件挠度限值的相关规定, 按照支挡结构高度的相对值和位移绝对值双控。考虑到大部分支挡结构高度不超过10m, 水平位移绝对值控制在50mm左右是合理的。重力式挡土墙在施工期间控制墙趾部位的水平位移在50mm内, 防止出现挡土墙底摩阻力不足的情况。预应力锚杆的轴力控制值上限值为锚杆轴向拉力设计值, 达到此值时锚杆尚可正常工作, 但安全冗余已经很小, 必须采取措施了。预应力锚杆的轴力控制值下限值为50% f_y , 即锁定值的一半, 如轴力继续减小可能造成锚杆失效, 危及支护系统安全, 此时必须采取措施。监测预警值一般按照控制值的80%左右设定。

10.2.4 飞行区服务车道桥梁监测预警值应符合表 10.4.4 的规定。

表 10.2.4 飞行区服务车道桥梁监测预警值设定表

类别	报警内容	预警值
环境	最高温度、最低温度、最大温差	达到 1.0 倍设计值
	构件封闭空间内相对湿度	达到 50%
	混凝土或钢结构构件温度	达到设计值

类别	报警内容	预警值
结构 响应	主梁关键截面挠度	车辆自重作用下的准静态挠度与设计荷载作用下的挠度之比
	梁端纵向位移	绝对值达到 0.8 倍设计值
	梁端横向位移	达到 0.8 倍设计值
	支座位移	绝对值达到 0.8 倍设计值
	主梁振动加速度	10min 加速度均方根达到 31.5cm/s^2 且持续时间超过 30min
	关键截面应变	超过历史最大值
	裂缝	出现结构性裂缝
	支座反力	绝对值达到 0.8 倍设计值
结构 变化	腐蚀	腐蚀深度达到保护层深度
	墩台沉降	$s \geq 20\sqrt{L}(\text{mm})$, 或 $\Delta s \geq 10\sqrt{L}(\text{mm})$
监测 数据 分析 结果	钢结构疲劳	疲劳损伤指数达到 0.1
	主梁下挠	持续下挠
	整体式结构偏载系数	达到 0.8 倍理论计算值
	多梁（肋）式结构横向协同工作性能	相邻梁结构响应的相关系数发生突变
	剔除环境影响的桥梁主要频率变化	超过 3%
	基于监测数据的深度挖掘状态评估	根据方法原理和试验结果进行确定

注：s 为墩台均匀总沉降； Δs 为相邻墩台总沉降差值；L 为相邻墩台最小跨径，单位为 m。

10.2.5 下穿通道的监测控制值和监测预警值应根据下穿通道的结构形式、交通方式等确定。

10.2.6 顶管工程、水平定向钻穿越工程应对其穿越影响范围内地表位移、地表裂缝、地下水位等进行监测，监测预警值应根据工程实际情况确定。

10.2.7 降水施工影响监测预警值应根据监测对象的现状、使用要求和相关技术标准等综合确定。

【条文说明】机场内的各种设施运行正常使用要求可参照《建筑地基基础工程施工质量验收规范》（GB 50202）、《民用机场助航灯光系统运行维护规程》（AP-140-CA-2009-1）、《民用航空通信导航监视台(站)设置场地规范》等规范的规定。

10.2.8 其他监测的预警值应根据工程实际情况确定。

10.2.9 达到监测预警值时，监测单位应及时发出预警信息，相关单位应采取相应措施确保工程安全。

10.3 自动化监测系统

10.3.1 数据采集及处理功能应满足下列要求：

- 1 具有自动监测和人工监测的功能；

- 2 能够在数据采集装置与系统平台之间进行双向数据通信；
- 3 能兼容并处理各种监测仪器及传感器所采集的信号，可将其转换为监测结果物理量；
- 4 具有人工监测数据录入的功能，实现对人工监测数据的处理。

10.3.2 监测系统运行状态判别及报警功能应满足下列要求：

- 1 具有对设备、电源、通信等硬件的工作状态进行自动监控和诊断，对异常状态自动报警的功能；
- 2 具有自动检验监测结果是否超过监测预警值，并实现预警的功能。

10.3.3 系统管理和维护功能应满足下列要求：

- 1 系统有明确的权限分级管理，具备可增减用户、更改口令和变更权限等功能；
- 2 可进行监测模块参数扩充和删减，调整相应计算公式；
- 3 可对监测项目进行增、删、改、查操作；
- 4 可增、删监测点，更改监测点属性，包括监测点初始化、监测频次及监测预警值等；
- 5 可增、删监测项目监测点布置图；
- 6 可对系统通信设备进行增、删、改、查操作；
- 7 可对系统硬件进行维修和更换。

10.3.4 信息交换功能应满足下列要求：

- 1 可按监测设计方案确定的信息反馈要求，反馈监测信息；
- 2 可与其他系统进行信息交换或在系统中预留相应的接口。

10.3.5 数据使用及维护功能应满足下列要求：

- 1 能对监测数据进行整理，对录入的人工监测数据进行有效性验证，自动计算相应的监测物理量；
- 2 查询数据、查询结果可用图表显示和导出；
- 3 根据用户需要，生成各类监测报表，并输出相应监测成果曲线图，能清晰表达监测点变化趋势；
- 4 应具备数据定期自动备份和手动备份的功能。

10.3.6 系统数据安全保护功能应满足下列要求：

- 1 系统可设置专用服务器或采用云服务；
- 2 有云上容灾保护与本地恢复功能，确保数据安全性、连续性；
- 3 具有 SSL 证书，防止数据遭窃取和篡改；
- 4 能解析数据库通信流量，细粒度审计数据库访问行为，精准识别、记录数据安全威胁；
- 5 敏感数据保护，可发现分类和保护敏感数据；
- 6 具有防勒索、防病毒、防篡改、合规检查等安全能力，实现威胁检测、响应、溯源的自动化安全运营闭环。

10.3.7 系统维护和管理应满足下列要求：

1 应编制自动化监测系统使用维护手册，并制定相关的管理规定，以及系统发生故障时保证不间断监测的应急预案；

2 监测单位应指派专人负责自动化监测系统的运行、管理、维护。

3 自动化监测系统安装调试完成后应进行试运行，稳定运行 72h 后正式投入使用。系统调试应包括下列内容：

- (1) 监测设备的参数标定；
- (2) 监测项目的初始值确定；
- (3) 数据采集、传输、处理等软、硬件设备的功能测试；
- (4) 监测项目、监测频率及监测预警值的设定；
- (5) 系统运行的稳定性和可靠性测试。

4 有效原始数据应全部存档，每月备份不少于 1 次。

5 应有自动化监测系统日常运行维护日志。

10.3.8 根据机场工程建设运行管理需要，宜适时对自动化监测系统进行完善、升级。

10.4 监测成果

10.4.1 监测成果应包括监测记录、监测报告。

10.4.2 监测记录应内容完整、字迹清晰、记录规范，采用自动化监测时应自动存储原始数据。

10.4.3 监测报告应根据工程要求和需要编制，可分为日报、周报、月报、阶段报告、总结报告、预警报告等。

10.4.4 监测报告应包括下列内容：

1 项目概况、监测工作情况、监测对象、监测项目、监测方法和技术、监测数据整理与分析、结论与建议等。

2 附图、附表和其他附件。

3 达到预警标准时的预警报告及建议。

10.4.5 监测成果宜保存下列资料：

- 1 监测合同；
- 2 监测设计、监测方案、技术交底记录；
- 3 基准点埋设或移交资料；
- 4 监测设备校准或标定证明材料、测点埋设记录等；
- 5 监测记录、监测报告；
- 6 监测影像资料；
- 7 自动化监测系统。

附录 A 建设期监测项目

表 A 建设期监测项目

监测对象		监测项目	备注	
地下水		水位、流向、流速、水温、水质、地下水露头点的流量、浑浊度、孔隙水压力等	根据实际情况选取部分或全部项目进行监测	
地基与场地	飞行区道面影响区地基	表面沉降、分层沉降、原地基沉降、地下水位、孔隙水压力		
	地下工程影响场地	地表变形、深层土体位移、地表裂缝、地下水位、孔隙水压力		
	不良地质作用场地	滑坡场地	深层水平位移、地下水流向、流速、孔隙水压力、支挡结构受力状态	
		地面沉降	表面沉降	
边坡	坡体	坡面竖向位移、坡面水平位移、深层水平位移		
		地下水位、孔隙水压力	软土地基时增加	
		流量	水文条件复杂时增加	
	重力式挡土墙	施工期间墙趾部位的水平位移和竖向位移		
	桩板式、扶壁式挡墙	桩顶、墙顶的水平位移和竖向位移、深层水平位移		
	预应力锚杆	锚杆轴力		
飞行区建(构)筑物	飞行区下穿通道	竖向位移、净空收敛及洞口地表位移		
	飞行区建筑物	地基沉降	基础施工前对地基进行监测	

附录 B 运营期监测项目

表 B 运营期监测项目

监测对象		监测项目	备注	
地下水		水位、流向、流速、水温、水质、地下水露头点的流量、浑浊度、孔隙水压力等	根据实际情况选取部分或全部项目进行监测	
地基与 场地	飞行区道面影响区 地基	表面沉降、分层沉降、原地基沉降、地下水位、孔隙水压力		
	地下工程影响场地	地表变形、深层土体位移、地表裂缝、地下水位、孔隙水压力		
	通信导航设施场	表面沉降和水平位移		
	不良地 质作用 场地	岩溶场地	表面沉降、地下水位（头）	
		滑坡场地	深层水平位移、地下水流向、流速、孔隙水压力、支挡结构受力状态	
地面沉降		表面沉降		
边坡	坡体	坡面竖向位移、坡面水平位移、深层水平位移		
		地下水位、孔隙水压力	软土地基时增加	
		流量	水文条件复杂时增加	
	重力式挡土墙	墙顶部的水平位移和竖向位移		
	桩板式、扶壁式挡 墙	桩顶、墙顶的水平位移和竖向位移、深层水平位移		
预应力锚杆	锚杆轴力			
飞行区 建 (构) 筑物	道面	结构内部应变、结构分层位移、结构内部温度、飞机荷载下的道面结构振动		
	飞行区服务车道桥 梁	环境：温度、湿度		
		荷载：行驶速度、飞机流量或车流量、飞机或车辆空间分布视频图像、地震时桥墩顶部和底部加速度		
		结构响应：挠度、位移、振动加速度、应变、结构裂缝、反力		
		结构变化：氯离子含量、墩身、承台混凝土侵蚀深度、竖向位移		
	飞行区下穿通道	竖向位移、净空收敛及洞口地表位移		
飞行区建筑物	沉降、水平位移等	参照《建筑变形测量规范》（JGJ 8）选取		

注：表中所列运营期监测为工程监测相关监测项目，并非与机场运营安全所有监测项目。

附录 C 常用监测方法

表 C 常用监测方法

监测项目		监测方法	常用监测传感器
位移	表面水平位移	水准测量	
	表层竖向位移	水准测量、InSAR、北斗监测系统、光纤式沉降计、光纤角速度线形监测系统	全站仪和水准仪
	分层沉降	水准测量、分层沉降仪	磁环式分层沉降标、深层沉降标
	深层水平位移	埋设测斜管	测斜仪
	桥梁及支座竖向位移	布设传感器	振弦式传感器、位移传感器
	桥梁墩台沉降	沉降标记法	
净空收敛		钢尺收敛计、水准测量	钢尺收敛计
振动	结构振动	布设传感器	平衡加速度传感器、电动速度摆加速度传感器、电阻应变计、光纤类应变计
	道面振动		光栅阵列振动传感缆、FBG 加速度传感器
疲劳监测		布设传感器	疲劳寿命计
水位监测		钻孔内设置水位管	水位计
土压力		边界式或埋入式埋设土压力计	土压力计
孔隙水压力		压入法、钻孔法埋设孔隙水压力计	孔隙水压力计
结构应力		结构内部或表面安装传感器	应变计、应力计、轴力计、光纤光栅应力(应变)传感器、轴力计
温度		温度计直接测量, 红外热成像技术, 或在结构表面或内部布设温度传感器	温度计、表面贴片式应变计、埋入式应变式温度计、光纤光栅温度计
含水率		埋设传感器	光纤光栅湿度计、基于时域或频域反射法的水分计
裂缝		直接测量法; 计算机视觉成像	千分尺、游标卡尺、裂缝显微镜、裂缝计等, 高分辨率相机

本规范用词用语说明

为便于在执行本规范条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词，说明如下：

1 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词采用“可”。

条文中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的规定”或“应符合……的要求”。非必须按所指定的标准、规范或其他规定执行时，写法为“可参照……”。

引用标准名录

- [1] 《建筑基坑工程监测技术标准》（GB 50497）
- [2] 《工程测量标准》（GB 50026）
- [3] 《建筑变形测量规范》（JGJ 8）
- [4] 《公路桥梁技术状况评定标准》（JTG/T H21）
- [5] 《地下水环境监测技术规范》（HJ 164）